



Universidade de Brasília

Faculdade de Administração, Contabilidade, Economia e Gestão de Políticas Públicas-FACE

Larissa Christina Lopes Lima

CONTABILIDADE DAS EMISSÕES DE GEE NACIONAL: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Dissertação de Mestrado em Economia

Brasília

2020

Larissa Christina Lopes Lima

CONTABILIDADE DAS EMISSÕES DE GEE NACIONAL: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Dissertação de mestrado submetida
ao programa de pós-graduação em
economia da Universidade de
Brasília, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do diploma
de pós-graduação em economia.

Orientador: Prof. Dr. Milene
Takasago

Brasília
2020

Larissa Christina Lopes Lima
Professor Orientador: Dra. Milene Takasago

APROVADA POR:

Prof. Milene Takasago

Orientador

Prof. Jorge Madeira Nogueira

Examinador interno

Prof. Carlos Augusto Klink

Examinador externo

Brasília, dia 10 de fevereiro de 2020

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, a professora Milene Takasago, pelos aprendizado e orientação.

Ao mestrado profissional em economia – gestão econômica do meio ambiente da Universidade de Brasília por me proporcionar um excelente ambiente de aprendizado.

Ao coordenador, Prof. Jorge Madeira Nogueira pelo apoio, orientação, compreensão e amizade.

Ao doutorando Carlos Eduardo Menezes da Silva por seu apoio, orientação, amizade e disponibilidade.

À Laura pelo apoio e companhia durante os finais de semana de estudo no CIORD.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho.

RESUMO

O Brasil é um dos grandes contribuintes para a mudança do clima devido a sua alta taxa de emissões resultantes de seu sistema produtivo e padrão de consumo da população. A contabilidade de emissões nacionais podem ser desenvolvida à luz de uma análise insumo-produto ambientalmente estendida para que os dados de emissões possam ser analisados como parte do sistema econômico interdependente. De modo que seja possível investigar a relação entre a economia e as emissões de gases de efeito estufa, de forma setorial sob a perspectiva da produção. Também é possível investigar a relação linear entre a demanda final e a produção de bens para atendê-la. Com base nos resultados, concluiu-se que os setores de Indústria da Transformação e Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura são os de maior intensidade de emissão da economia brasileira, sendo que o setor de Indústria da Transformação é considerado um setor chave para o desenvolvimento econômico e por isso representa o maior desafio para o combate nacional à mudança do clima.

Palavras-Chave: Insumo-Produto, Inventário de Emissões, Gases de Efeito Estufa, Mudança do Clima.

ABSTRACT

Brazil is a major contributor to climate change due to its high levels of permitted use of its productive system and the population's consumption pattern. National selection accounting can be developed in the light of an environmentally extended input-output analysis for display data that can be analyzed as part of the interdependent economic system. So that it is possible to investigate a relationship between economics and greenhouse gases emission, from the perspective of sectoral production. It is also possible to investigate the linear relationship between the final demand and the production of goods to meet it. Based on the results, it was concluded that the sectors of transformation industry and agriculture, livestock, forestry production, fisheries and aquaculture are those with the highest emission intensity in the Brazilian economy, with the transformation industry sector being considered a key sector for economic development and therefore represents the greatest challenge for the national fight against climate change.

Key words: Input-output, Emissions Inventory, Greenhouse Gases, Climate Change.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL NAS EMISSÕES DIRETAS POR SETOR, EM 2015	43
FIGURA 2 – DADOS DE EMISSÕES DIRETAS RESULTANTES DAS ATIVIDADES DO SETOR DE INDÚSTRIA DA TRANSFORMAÇÃO, EM 2015	44
FIGURA 3 – CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS EMISSÕES DE GEE DO SETOR DE ÁGUA, ESGOTO, ATIVIDADES DE GESTÃO DE RESÍDUOS, ELETRICIDADE E GÁS, EM 2015	45
FIGURA 4 – CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS EMISSÕES DE GEE DO SETOR DE TRANSPORTE, ARMAZENAGEM E CORREIO, EM 2015	46
FIGURA 5 – EMISSÕES TOTAIS DE GEE A MONTANTE, POR SETOR, EM 2015	49
FIGURA 6 – PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DOS COMPONENTES DA DEMANDA FINAL NAS EMISSÕES BRASILEIRAS	50
FIGURA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE AS EMISSÕES DE GEE A MONTANTE E AS DIRETAS, EM 2015	51

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - COMPATIBILIZAÇÃO DOS DADOS DA OECD E EDGAR	39
QUADRO 2 – COMPATIBILIZAÇÃO DOS SETORES DA MIP BRASILEIRA COM OS DA OECD	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MIP SIMPLIFICADA DE UMA ECONOMIA DE DOIS SETORES.....	31
TABELA 2 – EMISSÕES DIRETAS DE CO ₂ EQ POR SETOR, EM 2015	42
TABELA 3 – VALORES DE EMISSÕES DIRETAS TOTAIS DE GEE DIRETAS ESTIMADAS PELO MCTI, SEEG E PELO AUTOR	47
TABELA 4 – EMISSÕES A MONTANTE DE CO ₂ EQ POR SETOR, EM 2015.....	48
TABELA 5 – ÍNDICES DE RASMUSSEN-HIRSCHMAN, BRASIL, 2015	53
TABELA 6 – RESULTADOS DE CADA ETAPA DA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO AMBIENTALMENTE ESTENDIDA	63
TABELA 7 – VALORES DO POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL-GWP	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ACV	Análise de Ciclo de Vida
AEAs	Contas de Emissão de Ar
AR4	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report</i>
BL	Índice de Ligação para Trás
CEI	Conta Econômica Integrada
CIU	<i>Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas</i>
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
COP	Conferência das Partes
FL	Índice de Ligação para Frente
GEE	Gás de efeito estufa
GTP	Potencial Global de Mudança de Temperatura
GWP	Potencial de Aquecimento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ISFLSF	Instituições sem Fins Lucrativos a Serviço das Famílias
ISIC	<i>International Standard Industrial Classification of all economic activities</i>
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação
MIP	Matriz insumo-produto
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NAMEA	Matriz de Contabilidade Nacional Incluindo Contas Ambientais
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
RBL	Ranking do Índice de Ligação para Trás
RFL	Ranking do Índice de Ligação para Frente
SCEA	Sistema de Contas Econômicas Ambientais
SCN	Sistema de Contas Nacionais
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases
Tg	Teragrama
TRUs	Tabela de Recursos e Usos

UNFCCC *United Nations Framework Convention on Climate Change*

UNSD *United Nations Statistic Division*

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Matriz (nxn) dos coeficientes técnicos de produção, cujo elemento é a_{ij}
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
D	Vetor de intensidade direta de emissões (nx1)
E	Matriz de emissões totais a montante
f	Matriz (nx1) das demandas finais
I	Matriz identidade (nxn)
(I-A) ⁻¹	Matriz de Leontief (nxn)
L	Matriz de Leontief (nxn)
N ₂ O	Óxido nitroso
p	Vetor de emissões diretas (nx1)
Q	Vetor de intensidade total de emissões (nx1)
x	Matriz (nx1) dos valores da produção ou das demandas totais dos setores da economia, cujo elemento é x_{ij}

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
REVISÃO DE LITERATURA	14
1.1 ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA	14
1.2 CONTABILIDADE DAS EMISSÕES DE GEE.....	16
1.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES BASEADO NA PRODUÇÃO VS INVENTÁRIO DE EMISSÕES BASEADO NO CONSUMO	19
1.5 MODELO INSUMO-PRODUTO	22
1.5.1 Modelo Insumo-Produto e Emissões de GEE	23
MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1 PESQUISA LITERÁRIA.....	27
2.2 O SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS	27
2.2.1 Estrutura da Matriz Insumo Produto Brasileira.....	28
2.3 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO.....	30
2.3.1 Análise Insumo-Produto Ambientalmente Estendida	33
2.4 INDICADORES SÍNTESES DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO.....	35
2.5 GASES DE EFEITO ESTUFA ABORDADOS.....	37
2.6 AGREGAÇÕES E COMPATIBILIZAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS COM A MIP	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DIRETAS DE GEE	42
3.2 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE A MONTANTE.....	47
3.2.1 Emissões de GEE a Montante por Componente da Demanda Final	49
3.3 EMISSÕES DIRETAS VS EMISSÕES A MONTANTE	50
3.4 AVALIAÇÃO DO PESO DOS INDICADORES ECONÔMICOS E ECOLÓGICOS NO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL.....	52
3.5 LIMITAÇÕES DA ANÁLISE	54
CONCLUSÃO.....	56
Referências	58
APÊNDICE A – RESULTADOS DA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO AMBIENTALMENTE ESTENDIDA.....	63
ANEXO A – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL - GWP	64

INTRODUÇÃO

A mudança do clima, um problema de degradação ambiental global, representa um desafio para os formuladores de políticas públicas de controle das emissões de gases de efeito estufa nacionais e internacionais. A contribuição das atividades antrópicas na mudança do clima é amplamente reconhecida devido ao fato de que as emissões de gases de efeito estufa consequentes das atividades econômicas é a sua principal causa. Para reduzir os impactos das externalidades negativas resultantes da mudança do clima é necessária a redução das emissões de gases de efeito estufa a um nível limite o aumento da temperatura global (IPCC, 2014).

Ao mesmo tempo que os padrões de consumo e produção geram externalidades negativas que afetam o bem-estar social, não é possível atender as necessidades da população sem gerar resíduos. O que configura um trade-off entre sustentabilidade e crescimento econômico. Frente a este desafio, instrumentos que possibilitem a identificação não só dos impactos ambientais mas também de suas causas se tornam essenciais para a tomada de decisão no combate a mudança do clima. Nesse contexto, a análise insumo-produto ambientalmente estendida é um método bem estabelecido na literatura científica para a análise das relações entre as atividades econômicas e a poluição atmosférica.

Tendo em vista a relevância dos dados de emissões de gases de efeito estufa, os quais são divulgados nacionalmente e apresentados para a UNFCCC em formato de inventário, torna-se fundamental investigar e analisar os métodos de desenvolvimento de tais inventários. Isto porque para a elaboração de um inventário de emissões a partir de uma análise insumo-produto ambientalmente estendida é essencial a compatibilização dos dados de emissões dos inventários nacionais com os agregados macroeconômicos encontrados no Sistema de Contas Nacionais.

Atualmente, o inventário de gases de efeito estufa brasileiro, publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação, e elaborado com base nas diretrizes do IPCC (2006) por ser o adotado pela UNFCCC. Não obstante, a metodologia de elaboração proposta pelo IPCC (2006) não é compatível com a estrutura de dados do Sistema de Contas Nacionais. O Brasil sob uma perspectiva global é o nono emissor de CO₂, por mais que o país venha reduzindo as emissões de alguns dos seus setores

como o de uso da terra e floresta, ainda assim apresentou um aumento de 1,3% em sua participação nas emissões globais.

À luz do exposto, esta dissertação tem o intuito de coadjuvar, desse modo, com a literatura científica vigente ao passo que fornece uma contabilidade recente de emissões de gases de efeito estufa nacional compatível com a estrutura do Sistema de Contas Nacionais brasileiro. Para isso, a dissertação apresenta uma análise insumo-produto ambientalmente estendida com dados de emissões líquidas de gases de efeito estufa para o Brasil, tendo como ano base 2015.

A Matriz insumo-produto brasileira, divulgada pelo IBGE, foi utilizada como fonte para a coleta de dados da produção nacional por setor. O enfoque desta dissertação não é apenas na proposta de um inventário de emissões de gases de efeito estufa compatível com o Sistema de Contas Nacionais, mas também compreender e medir as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. Para tanto, esta dissertação investiga a contribuição da produção dos setores nas emissões de gases de efeito estufa. Assim como comparar o potencial de desenvolvimento sustentável dos setores econômicos com base nos seus respectivos poderes de encadeamento dentro da economia e montante de emissões gerado.

Para atingir os objetivos expostos, o estudo foi estruturado em cinco capítulos. O primeiro contém uma revisão de literatura que expõe os contextos teóricos e empíricos da elaboração de inventários de gases de efeito estufa. São apresentados e resumidos artigos que representam o estado da arte a fim de justificar a relevância desta pesquisa. A análise insumo-produto ambientalmente estendida é apresentada como a estrutura metodológica condutora do cálculo para elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa diretas e a montante¹.

No segundo capítulo estão descritos os métodos e procedimentos por meio dos quais esta pesquisa foi desenvolvida.

O terceiro capítulo apresenta o inventário desenvolvido a partir da análise insumo-produto sob a perspectiva das emissões diretas da produção e das emissões a montante para atender os consumidores finais. Primeiramente são exibidos os valores do inventário de emissões diretas para cada um dos 17 setores da Matriz insumo-produto. Na sequência, são apresentados o resultados do inventário de

¹ Emissões a montante são aquelas associadas à produção, processamento, transmissão, armazenamento e distribuição do combustível, começando com a extração de matérias-primas e terminando com a entrega no local de uso (EUROPEAN COMMISSION et al., 2015).

emissões totais a montante para cada um dos setores, bem como para cada um dos componentes da demanda final. Por fim, são exibidos os resultados da avaliação de impacto e suas implicações. No quarto capítulo foram discutidas as limitações e incertezas inevitáveis para este tipo de análise. Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões do estudo.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA

A mudança do clima, um problema de degradação ambiental global, é causado direta e indiretamente por atividades antrópicas que geram impacto na composição atmosférica global como as emissões de gases de efeito estufa – GEE. (UNITED NATIONS, 1992). Dentre as consequências da mudança do clima está o aumento do nível do mar e da temperatura, derretimento das geleiras, secas longas e severas, inundações, perda da biodiversidade e produtividade agrícola (HENSON, 2011). Estes efeitos continuarão a crescer ao passo que continuem as emissões cumulativas (STERN, 2008).

As emissões antrópicas GEE são um caso clássico de falha de mercado em escala global (STERN, 2008), pelo fato de a atmosfera ser um recurso comum, ou seja, não rival e de possível exclusão (HANLEY et al., 2007). Em razão disso, as intervenções em escala global necessárias para o combate à mudança do clima podem ser consideradas como regulações de bens comuns globais (NORDHAUS, 1993). Em decorrência da magnitude do impacto gerado pelas externalidades negativas desta falha de mercado, a mudança do clima torna-se um assunto complexo e concomitantemente de importância vital (STERN, 2008).

O conceito de externalidades foi apresentado por Pigou em 1920, e se remete aos casos em que a ação de um agente econômico interfere na utilidade ou função de produção de um outro agente, sem nenhum meio de compensação. Assim, os benefícios ou custos da ação de um agente recaem sobre outros agente da sociedade (CORNES; SANDLER, 1996).

As externalidades consequentes das emissões de GEE possuem quatro características que as diferem dos exemplos de externalidades usuais da literatura. Suas origens e impactos são globais, alguns dos efeitos são de longo prazo e geridos por um processo de fluxo de estoque. Suas análises científicas envolvem incertezas e seus efeitos são em grande escala e podem ser irreversíveis (STERN, 2008).

Visto que a mudança do clima é um problema de degradação ambiental global, em suas origens e impactos, as estratégias para seu combate devem, portanto, ser de cooperação internacional. Além disso, suas estratégias de resposta devem adotar

instrumentos eficazes, eficientes e equitativos. De modo que as soluções propostas sejam compatíveis com os incentivos (STERN, 2008).

Um instrumento eficaz seria aquele que atinge os objetivos ou metas estabelecidas com um grau elevado de certeza, na escala necessária. Pode-se considerar que o instrumento é eficiente quando ele produz o máximo de benefícios líquidos para a sociedade. Em outras palavras, promove o uso dos recursos de forma a gerar maior relação benefício sob custo. Tendo em vista que instrumentos eficientes mantêm os custos baixos. A equidade é interpretada como a distribuição equânime, levando em consideração a distribuição de riqueza, habilidade e construção histórica (MEES et al., 2014).

Nessa conjuntura, a política climática deve buscar o alcance de um equilíbrio dos custos de combate à mudança do clima na margem e os benefícios da redução dos danos futuros. Uma vez que as externalidades climáticas faz com que os agentes econômicos não produzam a quantidade eficiente de GEE (NORDHAUS, 1993).

As políticas públicas nacionais e internacionais de combate à mudança do clima geralmente propõem metas de sustentabilidade expressas em termos de fluxos de emissões, níveis de estabilização ou em aumento médio de temperatura (STERN, 2008). Isto porque a poluição do ar e a mudança do clima interagem em diversos níveis, desde as fontes de emissões até as interações químicas entre os diferentes poluentes, bem como interações no sistema biofísico e econômico. Uma vez que a mudança do clima e a poluição do ar interagem em termos de fontes de emissões que normalmente são geradas pelos mesmos setores produtivos. Como também em termo dos setores afetados pela mudança do clima e pela poluição do ar (LANZI; DELLINK, 2019).

Entre os esforços de políticas globais de combate à mudança do clima, está a Conferência das Partes- COP sediada anualmente pela UNFCCC. Essas reuniões anuais têm como objetivo discutir e propor medidas de controle de emissões antrópicas de GEE para que a interferência humana nas mudança do clima global seja reduzida. Durante a COP 21 ocorrida em 2015, foi proposto um acordo global do clima juridicamente vinculado (legally binding) com objetivo de estabelecer limite para o aquecimento global inferior a 2°C (FALKNER, 2016).

O acordo global diferencia as obrigações dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, o primeiro grupo de países deve continuar a aprimorar seus

esforços de mitigação e são encorajados a progredir com o tempo em direção ao tipo de metas de redução ou limitação de emissões que se aplicam aos países desenvolvidos. Já os países desenvolvidos devem continuar a liderar os esforços, cumprindo metas absolutas de redução de emissões em toda a economia. Cada país participante do acordo foi incumbido de elaborar sua Contribuição Nacionalmente Determinada, onde levando em conta suas circunstâncias econômicas, apresentou metas voluntárias de mitigação e adaptação a mudança do clima (FALKNER, 2016).

No acordo ratificado na COP21 as metas de redução de emissões são voluntárias com o objetivo de limitar o aumento da temperatura global em 2°C. Cabe destacar que o acordo em questão não é vinculativo devido ao seu caráter bottom-up. O último acordo vinculativo proposto para controle dos níveis de emissões de GEE foi o Protocolo de Quioto que expirou em 2012 (NORDHAUS, 2013). Frente a essa situação, torna-se fundamental o estabelecimento de prioridades nas políticas climáticas e mecanismos de redução de emissões de GEE que atendam os objetivos da política de cooperação global para o combate à mudança do clima. Para isso, é necessário mensurar as emissões geradas pelos agentes poluidores (ALLEN et al., 2016).

1.2 CONTABILIDADE DAS EMISSÕES DE GEE

Atualmente, a elaboração e implementação de políticas climáticas com o propósito de controlar os níveis de emissões de GEE é um grande desafio para formuladores de políticas públicas e tomadores de decisões (BELFIORI, 2013). Nesse âmbito, os inventários nacionais de GEE são instrumentos fundamentais para políticas de mitigação de emissões de GEE, pois fornecerem dados necessários para a elaboração deste tipo de política pública tanto em ambiente nacional como internacional (HAYWOOD et al., 2015). Em razão disso são vistos como indicadores de sustentabilidade base para a avaliação dos compromissos e desempenhos nacionais no combate a mudança do clima (PETERS; HERTWICH, 2008).

Indicador é um vocábulo originário do latim, significa descobrir, apontar, anunciar e estimar (Hammond, 1995 apud Hans, 2004). O indicador é uma ferramenta que permite a medição de dados que representam parâmetros ou valores derivados de parâmetros, os quais descrevem o estado de um ambiente ou uma resposta de um fenômeno que tenha ocorrido neste ambiente. Isto é, o indicador aponta as condições

do sistema de análise. Um indicador de sustentabilidade, especificamente, é uma ferramenta de auxílio para monitoramento do desempenho do desenvolvimento sustentável, pois reúne e quantifica informações de todas as suas dimensões (SANTOS, 2004 apud KEMERICH, RITTER e BORBA, 2014).

Para Gallopin (1996) os indicadores são fundamentais no processo de tomada de decisão, pois resumem e simplificam informações substanciais. Os indicadores e índices de desenvolvimento sustentável são ferramentas importantes para governos e instituições incluírem problemas ambientais nas agendas políticas. Além de serem ferramentas relevantes para a identificação de prioridades na elaboração de políticas públicas (SICHE et al., 2008; UNECE/OECD/EUROSTAT, 2008).

O Intergovernamental Panel on Climate Change- IPCC estabelece diretrizes para o desenvolvimento de inventários de qualidade, para tal, inventários nacionais devem incluir “emissões e remoções de gases de efeito estufa que ocorrem no território nacional e nas áreas offshore sobre as quais o país tem jurisdição.” (IPCC, 2006, p.4). Isto porque o método indicado pelo IPCC e pela UNFCCC para elaboração de inventários de emissões de GEE atribui todas as emissões resultantes das atividades de produção em território nacional às emissões totais desse país. Resultados da identificação e análise da fonte emissora e local são relevantes para a elaboração de políticas climáticas justas e equitativas (BRUCKNER et al., 2010).

De acordo com o artigo 12 da Convenção das Partes, a comunicação nacional deve incluir um inventário nacional de emissões antropogênicas de fontes e remoção por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. Assim como um inventário nacional de emissões antropogênicas por fontes e remoções por sumidouros de todos os gases de efeito estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal (UNFCCC, 2002).

As estimativas de emissões de GEE publicadas anualmente, conforme estabelecido no Art. 11 do Decreto no 7.390/2010, são parte integrante da comunicação brasileira com a UNFCCC. O instrumento oficial para disponibilização anual das estimativas de emissões de GEE brasileiras é Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), o qual foi oficializado pela Presidência da República por meio do Decreto no 9.172/2017. Tais estimativas são elaboradas tendo como base metodológica a proposta pelo IPCC (1996) e (2006) para elaboração de inventário de emissões. Os dados de emissões de GEE são distribuídos em cinco setores: energia,

processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e florestas e tratamento de resíduos (IPEA, 2011; MCTI, 2017).

O primeiro inventário brasileiro de GEE foi publicado em 2004, o documento continha informações sobre as emissões brasileiras de GEE de 1990 e 1994 (SEEG, 2014). Em 2015, segundo a quarta edição das estimativas anuais de emissões de GEE no Brasil, os setores de energia, agropecuária e mudança do uso da terra e florestas respectivamente, foram os setores que emitiram maior carga de GEE (emissões líquidas) (MCTI, 2017). No entanto, não é possível a partir deste relatório ou dos dados publicados no SIRENE, identificar quais produtos ou atividades industriais brasileiras são responsáveis por tais emissões o que dificulta identificar as associações entre emissões de GEE e atividades industriais.

O motivo pelo qual as estimativas nacionais publicadas pelo MCTI não são comparáveis às atividades industriais está no fato de que o inventário brasileiro é elaborado de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC. A metodologia para a elaboração de inventários de emissões nacionais publicada pelo IPCC difere do limite do sistema usado no Sistema de Contas Nacionais (PETERS; HERTWICH, 2008). Como consequência, os dados de inventários de emissões brasileiras disponibilizados pela ONU, Ministério da Ciência e Tecnologia e o Sistema de Estimativa de Gases de Efeito Estufa Brasileiro – SEEG são de difícil comparação direta com quantidades econômicas como o PIB e com as atividades produtivas da Matriz Insumo-Produto brasileira.

Tendo em vista as limitações da metodologia de inventários de GEE do IPCC para a análise econômica ambiental, outras metodologias vem sendo propostas. Entre as amplamente utilizadas estão o Sistema de Contas Econômicas Ambientais-SCEA e as Matrizes Nacionais de Contabilidade, incluindo Contabilidade Ambiental-NAMEA, modelos do tipo top-down elaborados a partir de agregados macroeconômicos. Contudo, para o desenvolvimento de contas econômicas ambientais, como o inventário de emissões de GEE a partir de uma metodologia top-down como análise insumo-produto, vê-se necessária uma adaptação da estrutura de dados do SCN e da estrutura setorial do inventário adotado pela UNFCCC e o IPCC. (Peters e Hertwich, 2008; Toledo Neto, Nogueira e Mozzer, 2017).

Nesse contexto, tanto o SCEA, como o NAMEA objetivam conectar as atividades econômicas (classificados pela classificação industrial padrão internacional

de todas as atividades econômicas-*ISIC* ou classificação de atividades econômicas na comunidade europeia-*NACE*) aos indicadores ambientais, como por exemplo de poluição do ar (PEDERSEN; HAAN, DE, 2006; PETERS; HERTWICH, 2008).

No Brasil, o IBGE juntamente com parceiros nacionais é o responsável pelo desenvolvimento das contas econômicas ambientais. Até então já foram publicados os resultados preliminares das Contas Econômicas Ambientais de Água (dados de 2013 a 2015), assim como foram elaboradas as Contas de Floresta (madeira) e de energia (produtos energéticos primários e secundários) (MMA, 200[?]). Não obstante, ainda não foram publicadas contas econômicas ambientais de GEE.

A OECD publicou recentemente uma metodologia para estimar as Contas de Emissão de Ar (AEAs) para dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), em conformidade com SCEA. O objetivo principal dessa iniciativa é fornecer estimativas baseadas na produção nacional, para os países que como o Brasil ainda não as desenvolveram. A metodologia propõem uma repartição sistemática por indústrias e famílias, de modo que os dados sejam diretamente comparáveis aos dados socioeconômicos do SCN (FLACHENECKER et al., 2018). Por se tratar de uma iniciativa recente, até o presente momento não foram publicados dados recentes de AEAs para o Brasil.

1.3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES BASEADO NA PRODUÇÃO VS INVENTÁRIO DE EMISSÕES BASEADO NO CONSUMO

O estudo da responsabilidade ambiental nacional baseado nas emissões de GEE pode ser desenvolvido sob duas perspectivas, a do produtor e a do consumidor. A contabilidade das emissões de GEE, segundo o princípio da produção, responsabiliza o produtor pelas emissões advindas da produção de energia, bens e serviços ao alocar as emissões nos processos produtivos que as emitem. Isto é feito sem que haja distinção entre exportação e consumo interno (MUNKSGAARD; PEDERSEN, 2001).

As emissões exportadas são contabilizadas como sendo equivalentes as de consumo doméstico (MUNKSGAARD; PEDERSEN, 2001). Em outras palavras, a contabilidade baseada na produção não é diretamente comparável ao PIB, o que gera desafio na alocação das emissões de atividades internacionais (PETERS; HERTWICH, 2008).

Já a perspectiva do consumidor consiste em correlacionar o somatório das emissões globais ao uso final em um certo país. Essa análise permite estimar a contabilidade de emissões de GEE incorporadas ao consumo nacional. Logo, pode-se dizer que a diferença entre as duas abordagens de responsabilidade ambiental está na diferença entre as importações e exportações de emissões incorporadas. Visto que a abordagem do consumidor permite investigar as emissões de GEE incorporadas no fluxo de comércio internacional e a abordagem da produção apenas contabiliza as emissões geradas no território nacional. (Tukker e Dietzenbacher, 2013; Wiedmann, 2010; Wiedmann, 2009).

Outra limitação da contabilidade de emissões baseada na produção está no fato de que esta abordagem desconsidera as emissões incorporadas no comércio internacional (BRUCKNER et al., 2010). A relevância do comércio internacional para a contabilidade de emissões, deve-se ao fato de que este conecta o consumo de um país as emissões geradas em outros países (SERRANO; DIETZENBACHER, 2010). Em outras palavras uma mudança nas taxas emissões em um setor externo pode estar vinculada a redução nas emissões de um setor doméstico, o que é conhecido como emissões fugitivas (FISCHER; FOX, 2012). De modo que a contabilidade de GEE produzidas por unidade de PIB ou PIB per capita de uma economia aberta pode induzir ao erro caso esta economia tenha um alto índice de exportação líquida de produtos intensivos em CO₂ (MUNKSGAARD; PEDERSEN, 2001).

Nesse contexto, a contabilidade de GEE baseada no consumo possibilita a identificação das emissões fugitivas potenciais, o que permite que os seus emissores sejam identificados (DAVIS; CALDEIRA, 2010). Tendo em vista que por mais que alguns países desenvolvidos apresentem baixos índices de emissões de GEE, pode ser consequência uma mudança na produção doméstica e de um aumento nas importações de produtos originários de países com estilos de produção altamente poluidores (MUELLER, 2004).

Ao desconsiderar esta possibilidade podemos cair no erro da Teoria do U invertido (curva de Kuznets), o qual esboça a relação entre a renda per capita e a poluição ambiental. Segundo a teoria, ao passo que a renda aumenta, o nível de poluição tende a diminuir. De modo que o crescimento econômico propiciaria melhoras nas condições ambientais. Contudo, a principal crítica desta teoria deve-se ao fato de que a mesma não leva em consideração que a redução da degradação

ambiental em um país pode estar ocorrendo em virtude da transferência da poluição para outros países de menor renda (MUELLER, 2004).

As barreiras relacionadas diretamente ao crescimento econômico não são as únicas enfrentadas na implementação de políticas climáticas, também existem as sociais e políticas. Visto que apenas soluções tecnológicas não são suficientes para a redução das emissões antrópicas de GEE. Melhorias técnicas para mitigação das emissões de GEE podem culminar, quando não acompanhadas de um instrumento social e o político, em um aumento no consumo. Nesse contexto, políticas climáticas devem além de conter instrumentos econômicos, sociais e políticos, também devem atingir não apenas a produção como também o consumo (SÁNCHEZ et al., 2019).

Sem embargo, a transição do desenvolvimento econômico global para um sustentável é um processo interativo que evolui à medida que novas tecnologias, melhores práticas e que a sociedade, instituições e indivíduos se adaptam ao novo estilo de vida e desenvolvimento para a melhoria contínua da performance climática (NIEDERBERGER; KIMBLE, 2011). Além disso, vale ressaltar que a determinação do conceito de sustentabilidade e de métodos que indicam o nível sustentabilidade de exploração dos recursos naturais apresentam ambiguidade na literatura científica (WEINBAUM et al., 2013).

O uso sustentável dos recursos naturais, em outras palavras, a exploração destes recursos a um nível que não ultrapasse a capacidade de resiliência dos mesmos, é apontada como um dos pilares do desenvolvimento sustentável. Entretanto, definir a sustentabilidade não é uma tarefa simples. Há no entanto, duas correntes científicas que se destacam na discussão sobre o conceito de sustentabilidade a ecológica e a econômica (VEIGA, 2010).

Hodge (1997) reconhece que não existe apenas uma definição para a sustentabilidade, no entanto ele destaca que o ponto central do conceito de sustentabilidade é o cuidado e respeito concomitante pelo ecossistema e pelas pessoas que o habitam. O que quer dizer que para o desenvolvimento sustentável, não há competição e sim interdependência entre economia, meio ambiente e bem-estar. Tanto o conceito trazido pela Ecologia como pela Economia, mesmo apresentando divergências, concordam nesse ponto.

A ecologia trouxe o conceito de resiliência para a definição de sustentabilidade. A resiliência seria a uma medida que determina a capacidade de um sistema de

absorver e se adequar a distúrbios de forma que suas funções sejam mantidas. Desse modo, a sustentabilidade seria atingida caso os serviços ecossistêmicos se mantenham resilientes concomitantemente as atividades econômicas (VEIGA, 2010).

A economia se ampara em concepções diferentes e divergentes para o conceito de sustentabilidade, entre elas a sustentabilidade fraca e forte (VEIGA, 2010). A primeira e a segunda, são fundamentadas na visão de Solow de que em princípio, um mesmo nível de bem-estar poderia ser concebido com elevado uso de recursos naturais e pouco acúmulo bens humanos, ou com o contrário, abundância de bens humanos e poucos recursos naturais. Nesse cenário, haveria substitutabilidade entre recursos naturais e bens humanos para o alcance de um certo nível de bem-estar social. Sendo assim, a sustentabilidade seria um atributo fundamental para a definição do desenvolvimento sustentável (MUELLER, 2005).

Para a sustentabilidade fraca o capital natural e o capital produzido são facilmente Inter substituíveis, de modo que o capital total (produzido+natural+social+humano) e o produto podem crescer de forma ilimitada. Em contraponto, para sustentabilidade forte a substitutabilidade entre capital natural e o produzido é limitada. A limitação é devida a possibilidade de escassez do capital natural frente ao desenvolvimento econômico, de modo que esses dois capitais se tornariam complementares e não substituíveis. Desse modo, para que a expansão do produto real seja mantida o capital natural teria que ser mantido constante (MUELLER, 2004; VEIGA, 2010).

As duas perspectivas apresentadas são úteis para a avaliação do desenvolvimento econômico sustentável, uma vez que a avaliação requer a integração de indicadores de diversas dimensões, como por exemplo ecológicos e econômicos. Tal integração contribui para melhor tomada de decisão frente a degradação ambiental (EKINS, 2002). Uma das ferramentas de análise que possibilita a integração de indicadores econômicos e ambientais é a análise insumo-produto ambientalmente estendida baseado no modelo insumo-produto de Leontief (MOGHADDAM et al., 2018).

1.5 MODELO INSUMO-PRODUTO

O modelo insumo-produto, desenvolvido por Wassily Leontief lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1973. Este analisa a interdependência das indústrias em uma

economia, descrevendo a distribuição do produto de uma indústria na economia. A forma básica do modelo é um sistema de equações lineares, que pode ser estendido a fim de incorporar informações adicionais sobre as atividades econômicas. Por ser um modelo passível de se conectar com as outras ferramentas de análise econômica, esta estrutura analítica é a base metodológica de diversos tipos de modelos de análise econômica (MILLER; BLAIR, 2009).

As Matrizes Insumo- Produto - MIP enumeram as vendas anuais de n setores de uma economia para os setores equivalentes em uma matriz Z de transações interindustriais e para os k grupos de consumidores finais representados na matriz de demanda final f . Quando a matriz é ambientalmente estendida, a partir de uma matriz que calcula as emissões diretas totais, esta acompanha a matriz de consumo interno Z (STEEN-OLSEN et al., 2016).

Segundo Steen-Olsen et al (2016), não obstante, como toda estrutura analítica o modelo insumo-produto apresenta limitações. A classificação de produtos nesta estrutura analítica não permite identificar as diferenças entre produtos específicos, por exemplo entre vegetais orgânicos ou convencionais. Como consequência, as avaliações à luz da análise insumo-produto não possibilitam a identificação de efeitos relacionados a algumas escolhas específicas de estilo de vida, bem como a avaliação da eficácia de certas estratégias de redução de emissões.

O IBGE é responsável pela elaboração das matrizes insumo-produto brasileiras. As matrizes insumo-produto brasileiras são elaboradas a partir de dados do Contas Nacionais brasileiras, consistem em um conjunto de tabelas que detalham as operações de produção e consumo, por atividade, que geram as matrizes de coeficientes técnicos (IBGE, 2018).

1.5.1 Modelo Insumo-Produto e Emissões de GEE

Dados de emissões de GEE são passíveis de serem incorporados ao modelo de análise de insumo-produto para então poderem ser analisados como parte do sistema interdependente, ou seja, como parte de um sistema econômico cujos componentes estão conectados e interagem. Isto tornou-se possível a partir da introdução dos efeitos da poluição e outros fatores indesejáveis no sistema econômico proposta por Leontief (SÁNCHEZ et al., 2019).

A extensão do modelo insumo-produto proposta por Leontief permite calcular o total de insumos (medido em quantidade física ou em valor agregado) necessários direta e indiretamente para ofertar aos consumidores finais uma unidade adicional de um bem, mantendo constante as ofertas dos demais bens do mercado e as emissões líquidas geradas. Assim como os insumos totais necessários para redução das emissões líquida de uma unidade de um dado GEE, mantendo-se constante as emissões líquidas demais gases e as ofertas finais de todos os bens da economia (LEONTIEF, 1973).

Desta forma o modelo ambientalmente estendido com dados de emissões de GEE rastreia a origem das emissões resultantes da produção orientada a atender a demanda final e intermediária. Sendo possível identificar as emissões diretas e indiretas advindas da produção de bens e serviços (SÁNCHEZ et al., 2019).

A integração de contas satélites ambientais, como a de emissões de GEE, a matrizes insumo-produto nacionais não é uma tarefa fácil. Por outro lado, como destacado, é uma forma propícia de analisar os fatores por trás da relação economia e meio ambiente. Isto porque o modelo fornece uma informações da onda de consequências resultante de uma alteração nos fluxos econômicos entre os diferentes setores comerciais ou na relação linear entre a demanda final da economia e o produto total de mercadorias para atendê-la (SÁNCHEZ et al., 2019). Isto posto, vê-se como um esforço relevante para estudos, que como este, objetivam investigar a relação da economia e do meio ambiente sob a perspectiva do consumo e da produção separadamente por meio de dados setoriais detalhados sob as duas perspectivas (MARIN et al., 2012).

Cabe destacar que as métricas de caracterização dos dados de GEE usados nas análises ambientais tem de estar alinhados com um período de tempo específico, pois é algo pode influenciar significativamente os resultados (SÁNCHEZ et al., 2019).

Os GEE apresentam composição química, vida útil e efeitos radiativos diferentes, nesse contexto para que eles pudessem ser comparados quanto a sua influência no aquecimento global o IPCC criou uma métrica comum baseada no forçamento radiativo do CO₂. Essa métrica é denominada Potencial de Aquecimento Global-GWP, um índice baseado nas propriedades radiativas de gases de efeito estufa bem misturados. O GWP mede a força radiativa de uma massa unitária de um dado gás de efeito estufa bem misturado na atmosfera de hoje integrada ao longo de

um horizonte de tempo escolhido. A emissão equivalente de CO₂ é obtida multiplicando a emissão de um GEE pelo seu GWP para o horizonte de tempo determinado (IPCC, 2007).

Cabe destacar que o GWP não é a única métrica disponível, outra alternativa, por exemplo é o Potencial Global de Mudança de Temperatura – GTP. Este mede o impacto da emissão de uma tonelada de GEE na temperatura média global da superfície em um dado momento após a emissão, em relação ao impacto correspondente da emissão de uma tonelada de CO₂. Para qualquer horizonte temporal superior a 10 anos os valores do GTP são inferiores aos do GWP para poluentes climáticos de curta duração como o metano e o *black carbon*, pois a definição do horizonte temporal é diferente nas duas métricas (ALLEN et al., 2016). Consequentemente, ambas as métricas geram um perfil de aquecimento diferente ao longo do tempo para poluentes de curta duração.

Diversos estudos disponíveis na literatura científica internacional que objetivam investigar a intensidade de emissões de GEE por setor econômico foram desenvolvidos a partir do modelo insumo-produto. Entre eles estão Carvalho et al. (2013), Rhee e Chung (2006) e Su et al. (2013), que desenvolveram análises insumo-produto ambientalmente estendida com GEE sob a perspectiva do comércio internacional para avaliar as emissões de CO₂ no Brasil, Coreia, Japão e China respectivamente. Assim como Cristóbal (2010, 2012), Hristu-Varsakelis et al. (2010) e Hristu-Varsakelis et al. (2012), que desenvolveram análises insumo-produto lineares ambientalmente estendidas a fim de minimizar as emissões de GEE sujeitas a restrições ambientais e econômicas (RIBEIRO et al., 2018).

No repositório de teses e dissertações da Universidade de Brasília também estão disponíveis estudos relacionados à mudança do clima sob a perspectiva da análise macro e micro econômica. Entre estes cabe destacar a dissertação de Oliveira (2011) que analisou a intensidade de emissão de GEE na demanda final brasileira a partir do modelo insumo-produto. A de Vale (2014) que apresenta uma investigação empírica sobre a responsabilidade das emissões de GEE e o comércio internacional a partir do modelo insumo-produto. E uma mais recente, a da Teixeira (2017) que elaborou um referencial crítico de investimentos para mitigação de emissões de GEE no Brasil, onde foram identificados os principais atores e setores-chaves. Para tanto a autora calculou em sua tese a elasticidade demanda-emissão dos setores

produtivos via matriz insumo-produto brasileira. Como resultado ela chegou à conclusão que os setores-chave seriam o florestal, agropecuário, transporte e a indústria.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PESQUISA LITERÁRIA

A busca pela literatura especializada foi conduzida na base de dados Elseviers Scopus a fim de selecionar na literatura científica trabalhos relevantes para o estado da arte. Os estudos foram selecionados de acordo com a relevância para o estudo, fator de impacto da revista onde foram publicados, número de citações e o ano de publicação.

2.2 O SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS

O Sistema de Contas Nacionais –SCN brasileiro se baseia no *System of National Accounts* publicado em 1993 pela Eurostat, o qual foi atualizado em 2008. A estrutura proposta pela Eurostat possibilita a integração entre informações macroeconômicas, o corpo central das contas nacionais e as informações necessárias para a construção da MIP. A integração destas informações apresenta uma visão ampla da realidade econômica do país (FINAMORE, 2018).

O SCN abrange dois conjuntos de quadros que disponibilizam uma base de dados anual com defasagem de três anos. O quadro central é composto pela Conta Econômica Integrada-CEI, que dispõe informações de transações dos setores institucionais residentes e não residentes, como empresas, famílias e governos as quais permitem a visualização da relação nacional com o resto do mundo. A CEI é elaborada a partir de dados agregados da economia como um todo, por setor institucional de forma agregada, desse modo é possível entender o processo de geração, distribuição e acumulação de renda (FINAMORE, 2018).

O outro quadro, composto pelas Tabelas de Recursos e Usos-TRUs, complementa as informações da CEI para a elaboração do SCN. As TRUs representam as relações de produção entre as atividades econômicas e a renda gerada no processo produtivo, a partir de dados de produção, importação e consumo dispostos por atividades econômicas. As TRUs também são úteis para a elaboração da MIP pois detalham as relações de troca entre os setores produtivos da economia (FINAMORE, 2018).

O SCN brasileiro é publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, o qual disponibiliza as séries completas das TRUs a preços correntes e constantes, as CEIs para cinco setores institucionais (empresas não financeiras,

empresas financeiras, famílias, governo geral e instituições sem fins lucrativos a serviço das famílias) em valores correntes, ambos estão disponíveis desde o ano 2000. Também disponibiliza a Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE equivalentes ao nível de seção da Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas - CIIU (International Standard Industrial Classification of all Economic Activities - ISIC) (IBGE, 2017a).

A divulgação do SCN fornece informações sobre a geração, a distribuição e o uso da renda no Brasil. Assim como dados de acumulação de não ativos financeiros, patrimônio financeiro e as relações da economia nacional com o resto do mundo. Segundo o SCN Brasil 2015, o Produto interno Bruto-PIB registrou queda percentual anual em relação a taxa acumulada em quatro trimestres em comparação com ao mesmo período do ano anterior, no intervalo de 2010 a 2015. Uma das formas de cálculo do PIB é pela ótica da demanda. Sob esta ótica o PIB é calculado a partir do somatório dos componentes da demanda final, consumo das famílias, consumo do governo, formação bruta de capital, exportações de bens e serviços e importações de bens e serviços (IBGE, 2017b).

2.2.1 Estrutura da Matriz Insumo Produto Brasileira

O Sistema de Contas Nacionais-SCN é composto por um conjunto integrado de tabelas de recursos e usos e matrizes Insumo-Produto que proporcionam uma análise detalhada do processo de produção e do uso de bens e serviços e da renda gerada na produção. A integração das matrizes Insumo-Produto no SCN é realizado com o propósito de propiciar uma base de dados detalhada da conta da produção e da conta de geração de receita no SCN, assim como a conta de bens e serviços. Em outras palavras, fornece uma análise minuciosa de indústrias e produtos do SCN (EUROSAT/OECD/UN/WORLD BANK, 1993).

As MIPs brasileiras são elaboradas a partir de dados de oferta e demanda intermediária e final dos produtos disponíveis a preço do consumidor presentes nas TRUs e extraídos do SCN (IBGE, 2018).

As informações que compõem os dados obtidos nas TRUs são as matrizes de produção, consumo intermediário nacional, consumo intermediário importado, de demanda final por produtos nacionais (onde estão presentes os dados de consumo final das famílias), demanda final por produtos importados, demanda final por

atividade, valores dos impostos e subsídios associados a produtos, incidentes sobre bens e serviços absorvidos (insumos) pelas atividades produtivas e de valores dos impostos e subsídios associados a produtos, incidentes sobre bens e serviços absorvidos pela demanda final. Também são extraídos os seguintes vetores, vetor com o valor bruto da produção total por produto, com o valor bruto da produção total por atividade e vetor coluna com o valor adicionado total gerado pelas atividades produtivas (IBGE, 2018).

A MIP brasileira pode ser considerada como um conjunto de tabelas que detalham as operações de produção e consumo, por atividade que resultam em matrizes de coeficiente técnico. Uma matriz de coeficientes técnicos diretos representa o quanto uma atividade econômica precisa consumir das demais atividades para produzir uma unidade monetária adicional. Em outras palavras, o coeficiente técnico de produção é uma medida que reflete as relações entre quantidades consumidas e produzidas. A produção de cada atividade econômica, a partir de uma demanda fixa exógena, é calculada pelo modelo de Leontief. No Brasil, o instituto responsável pelo cálculo e divulgação das MIPs é o IBGE (IBGE, 2018).

Derivar a MIP das TRUs requer a aplicação de premissas tecnológicas ou de estruturas fixas de vendas para as relações entre os insumos e produtos. Estas se dividem em dois conjuntos de MIP: produto-produto e setor-setor (EUROSAT, 2008).

O banco de dados utilizado nesta pesquisa, A MIP brasileira, assume apenas premissas tecnológicas baseadas na indústria a qual permite que o mix de produção de cada setor pode ser alterado. Não obstante, cada setor mantém a sua participação constante no mercado de bens que produz. Na prática isso significa que cada setor pode vir a modificar o seu mix de produção, mantendo a sua participação nos distintos mercados onde ele atua (GUILHOTO, 2009).

Especificamente, são aplicadas apenas premissas do modelo de tecnologia do setor simples, as quais são adotadas pelo IBGE desde 1990 (FEIJÓ; RAMOS, 2013). Assume-se que a demanda final e intermediária são alocadas proporcionalmente ao market-share das atividades e a hipótese de tecnologia do setor (IBGE, 2018). As MIPs do tipo produto-produto resultantes do modelo são compostas por produtos homogêneos nas linhas e unidades homogêneas de produção nas colunas. Neste modelo ocorre a transformação dos valores ao longo das colunas das matrizes de uso a partir da multiplicação desta matriz por uma matriz de transformação

a qual incorpora a contribuição de cada indústria no processo de produção de dado produto (EUROSAT, 2008).

Esta estrutura analítica de insumo-produto é útil para desagregar os fluxos de bens e serviços em preços e volumes para o cálculo de um conjunto integrado de preços e medidas de volume. Estes dados são comumente integrados com a aplicação de modelos econômicos que possibilitam a análise das relações entre a demanda final e os níveis de produção industrial. Também podem ser aplicadas em estudos de análise de impacto, de produtividade, de mudança de preço, análises ambientais ou em qualquer outro tipo de análise em que se objetiva investigar as relações de independência entre processo de produção e as relações interindustriais (EUROSAT, 2008).

2.3 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

A estrutura analítica de insumo-produto desenvolvida por Wassily Leontief lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1973. Leontief chamou a atenção, em suas primeiras publicações para a importância do levantamento de dados estatísticos detalhados que permitissem descrever os fenômenos econômicos (FEIJÓ; RAMOS, 2013).

O modelo básico de insumo-produto proposto por Leontief é constituído de dados econômicos de uma região geográfica específica, por exemplo um país, um estado ou uma cidade. Estes dados são organizados em um sistema de equações lineares que representam bens produzidos (produtos) de um grupo da indústria e bens consumidos (insumos) que não foram produzidos por eles, mas por outras indústrias. As trocas de bens entre os setores são consideradas como vendas e compras de bens físicos. Em princípio, a contabilidade de todas as transações de compra e venda entre os setores torna possível o registro monetário de todas as trocas efetuadas (MILLER; BLAIR, 2009).

Estas informações básicas podem ser extraídas de uma tabela de transações entre indústrias, em que as linhas contêm a distribuição da produção de um produtor em toda a economia e as colunas contêm a distribuição de insumos exigidos por determinado setor para produzir seu produto (MILLER; BLAIR, 2009).

A tabela de transações de insumo-produto também inclui uma coluna e uma linha adicionais, como a coluna de demanda final. Esta coluna reporta as vendas de cada setor aos mercados finais de sua produção, como compras de consumo pessoal

e vendas ao governo federal. Por exemplo, a eletricidade é vendida para empresas de outros setores como insumo para a produção (uma transação entre indústrias) e também para consumidores residenciais (uma venda por demanda final). As linhas adicionais, denominadas Valor Adicionado, são responsáveis por outros insumos (não industriais) na produção, como mão-de-obra, depreciação de capital, impostos indiretos sobre negócios e importações (MILLER; BLAIR, 2009).

O modelo básico assume que uma economia possui n setores (as importações e exportações não são contabilizadas no modelo básico). Cada setor i tem sua produção total (produto) x_i e que existe uma demanda final f_i para os produtos de cada um dos setores. Existem transações Z_{ij} entre os setores i e j (demanda de produtos do setor i para o setor j) (MILLER; BLAIR, 2009). A Tabela 1 mostra uma matriz insumo-produto que representa de forma simplificada o modelo, para uma economia de dois setores.

Tabela 1 – MIP simplificada de uma economia de dois Setores

		Compras		Demanda Final (f)	Produção total (x)
		Agricultura	Manufatura		
Vendas	Agricultura	8	5	3	16
	Manufatura	4	2	6	12
	Valor Adicionado	4	5		
	Produção total (x)	16	12		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020), com base em (KITZES, 2013).

A distribuição das vendas dos setores de agricultura e manufatura pode ser expressa pela equação 1 matricial, a seguir:

$$x = Zi + f \quad (1)$$

Na equação 1, o x representa o vetor de produção total resultante da soma dos insumos intermediários Z (grifado em cinza na Tabela 1) de cada setor i (agricultura) necessário para a produção do setor j (manufatura), somado a demanda final f . O i representa o vetor coluna o qual exerce função de um vetor soma. Os vetores x_{nx1} e f_{nx1} , e, a matriz $Z_{n \times n}$ podem ser representadas da seguinte maneira, de acordo com os valores da Tabela 1:

$$z = \begin{bmatrix} 8 & 5 \\ 4 & 2 \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} 16 \\ 12 \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} 3 \\ 6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Como vimos na Equação 1, a equação de produção demanda constantemente uma certa quantidade de insumos para o processo de produção das mercadorias. Para descobrir esta proporção de insumos necessários para a produção de mercadorias, calcula-se uma matriz denominada coeficientes técnicos diretos, $A = (a_{ij})$ a qual nos diz qual a combinação necessária de insumos para que uma certa quantidade de mercadorias seja produzida. A matriz A pode ser representada da seguinte maneira:

$$A = \begin{bmatrix} 8/16 & 5/12 \\ 4/16 & 2/12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,41 \\ 0,25 & 0,16 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Usando a representação por matrizes, a relação entre A e a definição $z_{ij} = a_{ij}x_j$, pode ser descrita da seguinte maneira:

$$x = Ax + f \quad (4)$$

Aplicando-se a álgebra matricial é possível rearranjar ambas matrizes de produção total x para o mesmo lado da equação, para então, calcular o valor de x .

$$\begin{aligned} f &= x - Ax \\ x &= (I - A)^{-1}f \end{aligned} \quad (5)$$

A matriz $(I - A)^{-1}$ é conhecida como matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos ou matriz inversa de Leontief. A matriz inversa Leontief, L , nada mais é que a matriz inversa da diferença entre a matriz identidade I e a matriz A dos coeficientes técnicos (FEIJÓ; RAMOS, 2013). Nesse contexto, podemos expressar a produção total em função da demanda final da seguinte forma:

$$\begin{aligned} L &= (I - A)^{-1} \\ x &= Lf \end{aligned} \quad (6)$$

A equação 6 representa o modelo insumo-produto. Ela permite calcular a produção x necessária para atender a demanda final f , pois descreve a relação linear entre a demanda final de uma economia e o produto total de mercadorias necessário para atender a demanda em termos dos fluxos entre os setores produtores (FEIJÓ; RAMOS, 2013; CLARKE, 2017).

Esse modelo requer a existência de um setor exógeno, ou seja, um setor desconectado dos setores produtivos tecnologicamente relacionados. Este setor exógeno, o valor adicionado e a demanda final, atribuem maior coerência ao modelo insumo-produto pois desagregam os coeficientes tecnológicos dos associados as decisões de consumo (MILLER; BLAIR, 2009).

2.3.1 Análise Insumo-Produto Ambientalmente Estendida

O modelo insumo-produto vem sendo ambientalmente estendido desde a década de 60 por pesquisadores, com o propósito de contabilizar a poluição gerada nos processos industriais (MILLER; BLAIR, 2009). Recentemente, a análise insumo-produto ambientalmente estendida começou a ser aplicada em análises de emissões globais de carbono e outros GEE, assim como de recursos hídricos (KITZES, 2013).

A interação entre o meio ambiente e a economia pode ser analisada com a contribuição de dados das contas ambientais, que são um complemento as contas nacionais, também denominadas de contas satélites. As contas ambientais fornecem dados em unidades compatíveis com os do SCN, o que permite que estes dados se integrem (EUROSTAT, 2009).

O modelo a seguir, descrito com base em Miller e Blair (2009), Kitzes (2013) e Peters e Hertwich (2004), contabiliza os impactos associados as diversas atividades exercidas pelos setores nacionais produtores de bens e serviços vendidos eventualmente aos consumidores finais. Calcula os impactos ambientais, à montante, indiretos ou incorporados associados a uma atividade de consumo a jusante.

Cabe destacar que os impactos resultantes da produção podem ocorrer diretamente no nível do consumidor, por exemplo, a emissão direta de CO₂ como consequência do uso de gasolina pelo consumidor. No entanto, para que esses impactos diretos sejam inventariados e atribuídos aos consumidores seria necessário outro tipo de análise diferente da perspectiva apresentada. Portanto será calculada a

contabilidade de emissões baseado na produção e os impactos à montante (emissões totais) resultantes de todas as vendas feitas a um consumidor final (KITZES, 2013).

Para tanto, será desenvolvida uma análise insumo-produto ambientalmente estendida a fim de calcular os impactos ambientais resultantes das atividades produtivas de cada setor da economia. Para estender o modelo de Leontief é necessário medir os impactos ambientais diretos resultantes de cada setor de produção (KITZES, 2013). Esta análise permitirá identificar as emissões totais de GEE a montante(ou qualquer outro tipo de impacto ambiental a montante) resultantes da produção e venda de mercadorias, na economia brasileira em 2015. A contabilidade de emissões baseada na produção será analisado por setor produtor da MIP (nível 20²), o que possibilitará identificar quais setores são os principais emissores de GEE.

Primeiramente, deve-se calcular o vetor de intensidade direta, \mathbf{d} , que fornece as toneladas de gases poluentes emitidas pelas empresas, em cada setor, na produção de um dólar de mercadoria em um dado momento. Este vetor é calculado a partir da divisão do vetor de emissões diretas \mathbf{p} de cada setor pela produção total \mathbf{x} desse setor.

$$\mathbf{d} = [p_1/x_1 \quad \dots \quad p_n/x_n] \text{tgCO}_2\text{eq} \quad (7)$$

$$\mathbf{d} = \frac{[8 \ 4]}{[16 \ 12]} = [0.5 \ 0.33] \text{tgCO}_2\text{eq}$$

Em seguida, calcula-se a matriz de coeficiente técnico \mathbf{A} que informará a quantidade necessária de insumos que um determinado setor demanda dos outros setores para produzir uma unidade monetária de mercadoria (equação 3).

As emissões totais de GEE resultantes de todos os níveis de produção de todos os setores para a produção de uma unidade monetária de mercadoria a ser ofertada para o consumidor final, pode então ser calculada em um novo vetor. Este vetor de emissões total é denominado como vetor de intensidade total de emissões \mathbf{Q} . O vetor \mathbf{Q} é estimado a partir da soma dos vetores de intensidade de cada níveis de produção \mathbf{i} , sob a perspectiva do consumo. Desse modo, \mathbf{Q} pode ser calculado da seguinte forma:

² Versão 20 atividades por 20 produtos da Matriz Insumo-Produto brasileira disponibilizada pelo IBGE em seu portal na Internet.

$$Q = dL \quad (8)$$

$$Q = [0.5 \ 0.33] \times \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.5 & 0.42 \\ 0.25 & 0.17 \end{bmatrix} \right)^{-1} = [1.6 \ 1.2]$$

A equação 8 informa o montante de emissões de gases de efeito estufa necessários para a produção de cada unidade monetária de mercadoria nos setores a fim de atender as suas demandas finais. Sob a perspectiva do consumidor, também é possível calcular a matriz de emissões totais a montante E , resultantes de todas as vendas feitas ao consumidor final.

A matriz E é obtida ao multiplicar o vetor Q (emissões totais por unidade monetária da demanda final) pelo vetor de demanda final f (gasto total em bens e serviços no ano de análise):

$$E = [dL]f \quad (9)$$

$$E = [1.6 \ 1.2] \times [3 \ 6] = [4.8 \ 7.2]$$

2.4 INDICADORES SÍNTESES DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO

Uma grande variedade de índices ou multiplicadores, que analisam o papel que cada setor exerce na economia, estão disponíveis na literatura. Estes índices são valores que quantificam os impactos econômicos resultantes de uma perturbação no sistema econômico, como a consequência direta causadas pelos efeitos iniciais e as ondulações indiretas dos efeitos totais na economia (MILLER; BLAIR, 2009; SÁNCHEZ et al., 2019).

O índice de Rasmussen-Hirschman foi selecionado como método de análise de impacto com base na teoria de insumo-produto aplicada neste estudo. O “índice foi calculado a fim de investigar o comportamento da estrutura interna da economia brasileira, a partir da identificação dos setores chaves. Posteriormente estes resultados foram comparados com os resultados da contabilidade de emissões, com o propósito de identificar se os setores com maior carga de emissões de GEE são setores chaves para o desenvolvimento econômico do país.

Os índices de Rasmussen-Hirschman determinam quais são os setores com maior poder de encadeamento na economia, tanto as ligações para trás quanto para frente. O índice de ligação para trás - BL mede a quantidade de insumos de outras industriais que um determinado setor demanda para produzir. Podendo assim indicar a ordem de grandeza do impacto que uma variação na demanda final, pela atividade

do setor em análise, teria sobre seus fornecedores. Em outras palavras, o poder de dispersão deste setor na economia. Quando resultado do cálculo deste índice para determinado setor for maior que 1, pode-se dizer que este é um setor de impacto acima da média, altamente dependente de insumos dos demais setores da economia (FEIJO e RA, 2013; MILLER e BLAIR, 2009).

Já o índice de ligação para frente - FL mede quanto que um determinado setor é demandado pelos outros setores da economia. Desse modo, este é um índice que demonstra a sensibilidade de dispersão do setor a um aumento unitário da demanda final dos demais setores. Quando o resultado apresentar um valor superior a 1, trata-se de um setor cuja produção é altamente demandada pelos demais (FEIJO e RA, 2013; MILLER e BLAIR, 2009).

Caso os valores de ambos os índices para determinado setor for maior que 1, este é considerado um setor chave para o crescimento da economia. Destaca-se que os índices de Rasmussen-Hirschman não levam em consideração os diferentes níveis de produção de cada setor da economia (GUILHOTO, 2009).

Deste modo, seja $L = (I - A)^{-1}$ a matriz inversa de Leontief para o cálculo dos índices de Rasmussen/Hirschman definine-se l_{ij} como um elemento que compõe a matriz L ; L^* como a média aritmética de todos os elementos de L e a soma de uma linha e de uma coluna e coluna típica da matriz como l^*_i ; l^*_j . Assim, considerando n como o número de setores, o índice de ligação para trás (poder de dispersão) seria o seguinte:

$$U_j = \frac{\left(\frac{l^*_j}{n}\right)}{L^*} \quad 10$$

E o índice de ligação para frente (sensibilidade da dispersão):

$$U_i = \frac{\left(\frac{l^*_i}{n}\right)}{L^*} \quad 11$$

2.5 GASES DE EFEITO ESTUFA ABORDADOS

Este estudo utilizou dados coletados de três bancos de dados, o Banco de Dados de Emissões Internas da Comissão para Pesquisa Atmosférica Global (EDGAR) , dados de queima de combustível fóssil por indústria que foram diretamente solicitados a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico-OECD. Além de dados disponíveis no SIRENE para o setor de mudança do uso da terra e agropecuária. Não foram utilizados apenas dados do SIRENE e SEEG pois estes são agrupados em menos de 10 setores, o que torna complicada a compatibilização com a MIP brasileira.

Foram considerados os seguintes GEE: dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) emitidos na atmosfera para o na elaboração do inventário de emissões. Os GEE citados foram convertidos para a métrica CO_2eq , de acordo com o Potencial de Aquecimento Global - GWP que indica o efeito potencial de mudança climática por Kg de um GEE durante um período de 100 anos (IPCC, 2007).

O banco de dados EDGAR estima emissões antrópicas de GEE para todos os países, a fim de contribuir para a transparência das emissões nacionais em um cenário global e apoiar o papel da Comissão Europeia nas negociações climáticas na COP. Os dados foram coletados especificamente da versão V.5 deste banco de dados que contém dados de emissões dos GEE CO_2 , CH_4 e N_2O por setor e país, para 2015. A versão V.5 do EDGAR disponibiliza as emissões globais estimadas de 1970 a 2016. No inventário estão disponíveis estimativas de emissões para todas as atividades humanas, exceto para queima de biomassa em larga escala, uso da terra, setor florestal e mudança no uso da terra e silvicultura são incluídas de acordo com a classificação setorial do IPCC (JANSSENS-MAENHOUT et al., 2017). Estes, devido a relevância para análise brasileira, foram coletados no SIRENE-MCTI. Ou seja, os dados de emissões de GEE para o setor de Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, incluindo mudança no uso da terra (sem remoções), foram coletados do inventário nacional.

Foram solicitados dados de emissões de GEE brasileiros para 2015 diretamente a OECD, pois estes não estavam publicamente disponíveis. A Organização disponibilizou dados de CO_2 relativos a queima de combustíveis fósseis para 27 setores classificados de acordo com o International Standard Industrial

Classification of All Economic Activities Revision 4 (ISIC Rev.4) que desenvolvido pela United Nations Statistic Division - UNSD (UNSD, 2008).

2.6 AGREGAÇÕES E COMPATIBILIZAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS COM A MIP

Primeiramente foi feito o agrupamento dos dados das fontes citadas. O Quadro 1, a seguir, apresenta como as categorias produtivas de acordo com as diretrizes IPCC (2006) foram agrupadas aos 36 setores dos dados da OECD, os quais tem equivalência com o método de classificação do SCN. Tal agrupamento não foi possível de ser realizado de forma automática pelo fato de a estrutura de inventário sugerida pelo IPCC (2006) não ter compatibilidade alguma com a estrutura do SCN.

Para que a agregação e compatibilização fossem desenvolvidas da forma mais precisa possível, foram analisadas as descrições de cada micro atividade (por exemplo 1.A.1.a,b,c) de cada setor de acordo com as diretrizes do IPCC (2006), para que estas pudessem ser comparadas com as descrições do ISIC, base metodológica utilizada pela OECD.

No Quadro 1, o símbolo X foi utilizado quando os dados da fonte não foram agrupados ao setor. Para o setor de Agricultura e Mudança no Uso da Terra e Florestas foram utilizados os valores do banco de dados de GEE da ONU, pois não haviam dados para as atividades desse setor no EDGAR e no da OEDC apenas para atividades de queima de combustível fóssil. Tanto o banco de dados EDGAR como OECD não contemplam as emissões totais destas atividades, que são responsáveis por uma parcela representativa das emissões totais nacionais. Neste contexto, o autor deste estudo considerou relevante para a análise incluir as emissões não apenas de queima de combustível fóssil, até porque os principais poluentes emitidos pela agricultura são o CH₄ e N₂O (MCTI, 2017).

Os dados do EDGARV.5 de CH₄ e N₂O não estão disponíveis na métrica CO₂ (eq), por isso estes foram calculados de acordo com os valores de GWP apresentados no Quadro 1. Em seguida, foram somados aos valores de CO₂. A unidade de medida para apresentação destes valores é o Teragrama (Tg), o qual equivale a 1 milhão de toneladas.

A compatibilização dos 36 setores dos dados da OECD com a estrutura setorial da MIP nível 20 (IBGE, 2018), foi desenvolvida de modo que cada setor produtivo da

MIP reflita o conjunto de atividades que os caracterizam (Quadro 2). Para facilitar a compatibilização, os setores Eletricidade e Gás foi agrupado ao de Água, Esgoto, Atividades de Gestão de resíduos e Descontaminação, uma vez que os dados de emissões encaminhados pela OECD agrupam os dois setores (Seções 35 e 39 do ISIC.REV.4).

Quadro 1 - Compatibilização dos Dados da OECD e EDGAR

Setor	OECD (ISIC.Rev4)	EDGAR (IPCC 2006)	Setor	OEC (ISIC.Rev4)	EDGAR (IPCC 2006)
1. Agricultura, Mudança no Uso da Terra e Florestas	x	3	19. Outro equipamento de transporte	D30	x
2. Mineração e extração de produtos produtores de energia	D05T06	x	20. Fabricação; reparação de máquinas e equipamentos	D31T33	x
3. Mineração e pedreira de produtos não produtores de energia	D07T08	x	21. Serviços de eletricidade, gás, abastecimento de água, esgoto, resíduos e recuperação	D35T39	1.A.1.a; 3.C.1; 4.C;4.D
4. Serviços para mineração e pedreira	D09	x	22. Construção	D41T43	x
5. Produtos alimentares, bebidas e tabaco	D10T12	x	23. Comercio no atacado e varejo; reparação de veículos a motor	D45T47	x
6. Têxteis, produtos têxteis, couro e calçado	D13T15	x	24. Transporte e armazenamento	x	1.A.3.b,c,d,e
7. Madeira e produtos de madeira e cortiça	D16	x	25. Serviços de hospedagem e alimentação	D55T56	x
8. Produtos de papel e impressão	D17T18	x	26. Atividades de edição, audiovisual e radiodifusão	D58T60	x
9. Coque e derivados de petróleo refinado	x	1A.1.bc	27. Telecomunicações	D61	x
10. Químicos e produtos químicos	D20T21	2.B	28. Serviços de TI e outros serviços de informação	D62T63	x
11. Produtos de borracha e plástico	D22	x	29. Atividades financeiras e de seguros	D64T66	x
12. Outros produtos minerais não metálicos	x	2.A	30. Atividades imobiliárias	D68	x
13. Metais básicos	D24	2.C	31. Outros serviços do setor empresarial	D69T82	x
14. Produtos metálicos fabricados	D25	x	32. Administrador público. e defesa; segurança social obrigatória	D84	x
15. Computador, equipamento eletrônico e óptico	D26	2.G	33. Educação	D85	x
16. Máquinas e aparelhos elétricos	D27	x	34. Saúde e serviço social	D86T88	x
17. Máquinas e equipamentos	D28	x	35. Outros serviços comunitários, sociais e pessoais	D90T96	x
18. Veículos a motor, reboques e semi-reboques	D29	x	36. Famílias particulares com pessoas empregadas e famílias domésticas	D97T98	x

Fonte: Elaborado pelo autor com base no IPCC (2006) e ISIC.REV4

Também foi necessário agrupar os setores Atividades Científicas, Profissionais e Técnicas ao de Atividades Administrativas e Serviços Complementares, pelo mesmo motivo. O setor de Outras Atividades de Serviços, foi desconsiderado visto que não haviam dados de emissões para ele. Como resultado das alterações expostas, obteve-se uma MIP nível 17. A autora desta dissertação fez o agrupamento e compatibilização dos setores da OECD e MIP de acordo com o CNAE 2.0 e o ISIC.REV.4.

Quadro 2 – Compatibilização dos setores da MIP brasileira com os da OECD

Setor MIP	Setor OECD	Setor MIP	Setor OECD
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	1	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	29
Indústria Extrativista	2, 3 e 4	Atividades imobiliárias	30
Indústria de Transformação	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20	Atividades científicas, profissionais e técnicas, administrativa e serviços complementares	31
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação, Eletricidade e gás	21	Administração pública, defesa e seguridade social	32
Construção	22	Educação	33
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	23	Saúde humana e serviços sociais	34
Transporte, armazenagem e correio	24	Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	35
Alojamento e alimentação	25	Serviços Domésticos	36
Informação e comunicação	26, 27 e 28		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020) com base na CNAE2.0 e ISIC.REV.4 (2019).

2.7 DESENVOLVIMENTO DO MODELO INSUMO- PRODUTO ESTENDIDO

A matriz de Insumo-Produto, 2015, utilizada nesta dissertação foi a mais recente calculada pelo IBGE. Após feitas as agregações de setores, conforme

analisado no item anterior, chegou-se a uma matriz com 17 setores. O modelo de insumo-produto ambientalmente estendido foi, então, construído no Microsoft Excel.

As matrizes necessárias para a análise, A , $(A - I)$ e L foram calculadas a partir das informações coletadas aplicando-se o método descrito neste capítulo. O modelo foi ambientalmente estendido com os dados de emissões diretas de GEE p na unidade de Teragrama (Tg) de CO₂ equivalente. Todas as tabelas utilizadas no modelo e seus respectivos valores resultantes estão disponíveis de forma detalhada no Apêndice.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DIRETAS DE GEE

Os resultados deste estudo demonstram que o total de emissões líquidas resultantes da produção nacional é 1.388 Tg de CO₂ eq, em 2015 (Tabela 2). O que indica que as emissões líquidas per capita mantiveram-se mais baixas que a média global, 6,7 t/hab contra 7,6 t/hab global. Ao analisar a variação nas emissões de 2010 a 2015, o Brasil apresentou uma redução de 55% em suas emissões líquidas produzidas em território nacional (MCTI, 2017).

Tabela 2 – Emissões diretas de CO₂ eq por setor, em 2015

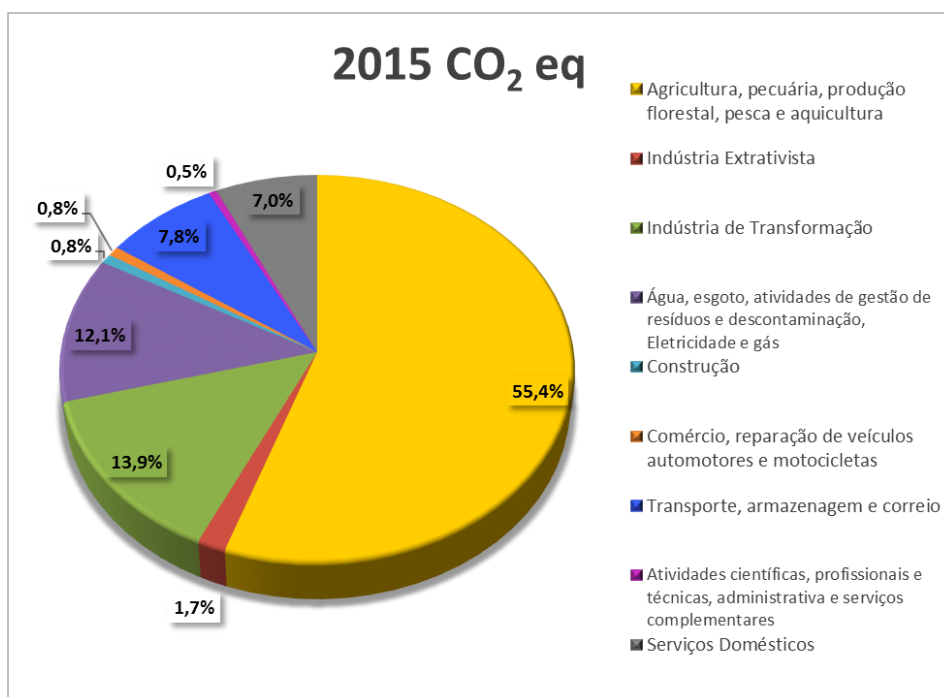
Setor MIP	Tg CO ₂ eq	Setor MIP	Tg CO ₂ eq
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	760,71	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1,48
Indústria Extrativista	22,83	Atividades imobiliárias	1,45
Indústria de Transformação	190,70	Atividades científicas, profissionais e técnicas, administrativa e serviços complementares	7,50
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação, eletricidade e gás	166,74	Administração pública, defesa e seguridade social	3,45
Construção	10,81	Educação	1,68
Comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas	10,92	Saúde humana e serviços sociais	2,42
Transporte, armazenagem e correio	107,24	Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	1,74
Alojamento e alimentação	0,80	Serviços Domésticos	96,20
Informação e comunicação	2,12	Total	1388,77

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do EDGARV.5 (2015), OECD(2015) e UN GHG (2015) inventário

As emissões brasileiras de CO₂, em 2015, representaram 1,3% de participação no total global de emissões. Sendo o nono emissor de CO₂ em um ranking criado pela Comissão Europeia e a Agência de Meio Ambiente da Holanda. O ranking não considera emissões advindas do desflorestamento e nem de incêndios florestais(OLIVIER et al., 2016).

Na Figura 1 estão ilustradas as contribuições percentuais de cada setor produtivo nas emissões totais de GEE. A partir dos dados exibidos, percebe-se que os setores que emitem a maior carga de emissões são os de Agricultura, Pecuária, Produção florestal, Pesca e Aquicultura (55,4%), Indústria de transformação (13,9%) e o de Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação, eletricidade e gás (12,1%).

Figura 1 – Participação percentual nas emissões diretas por setor, em 2015



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

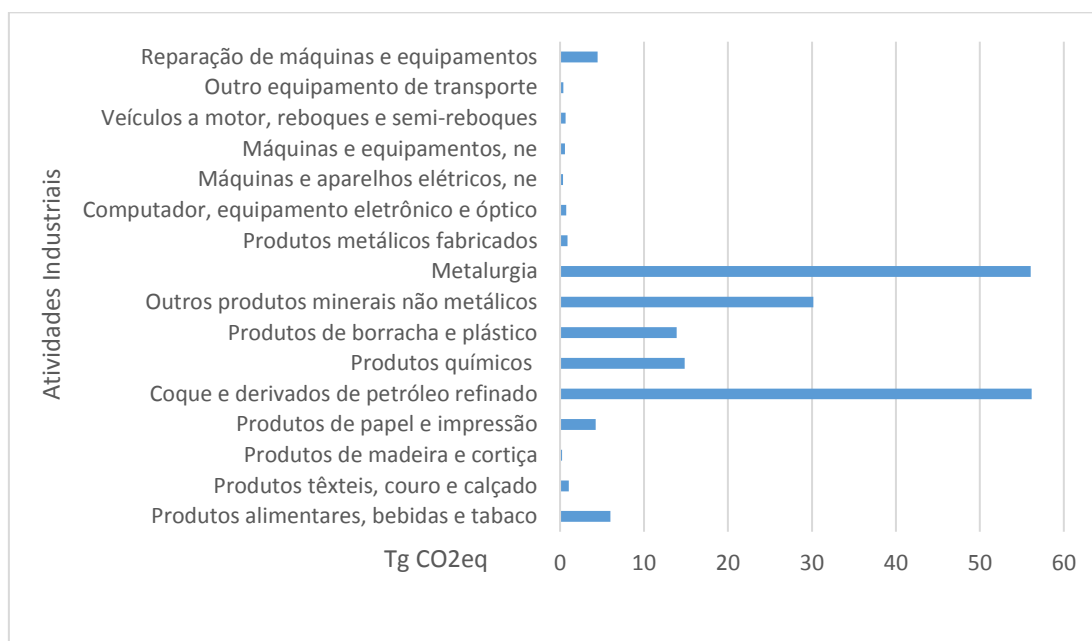
Segundo o ISIC rev.4, as principais atividades industriais do setor de Agricultura, Pecuária, Produção florestal, Pesca e Aquicultura são: a produção de lavouras permanentes e temporárias, horticultura e floricultura, produção de sementes

e mudas certificadas, pecuária, caça, produção florestal de florestas plantadas e nativas e atividades de apoio (UNSD, 2008).

Dentre as atividades listadas, de acordo com o MCTI (2017), a principal fonte de emissão de GEE é decorrente da conversão de florestas para cultivos agrícolas e pecuária. Em segundo e terceiro lugar respectivamente estão a fermentação entérica decorrente da pecuária altamente emissora de metano e o uso de fertilizantes e adubos sintéticos em atividades de agricultura.

As principais atividades poluidoras do setor de Indústria da transformação são a fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis e a metalurgia. Seguido da fabricação de produtos minerais não metálicos (Figura 2).

Figura 2 – Dados de emissões diretas resultantes das atividades do setor de Indústria da Transformação, em 2015



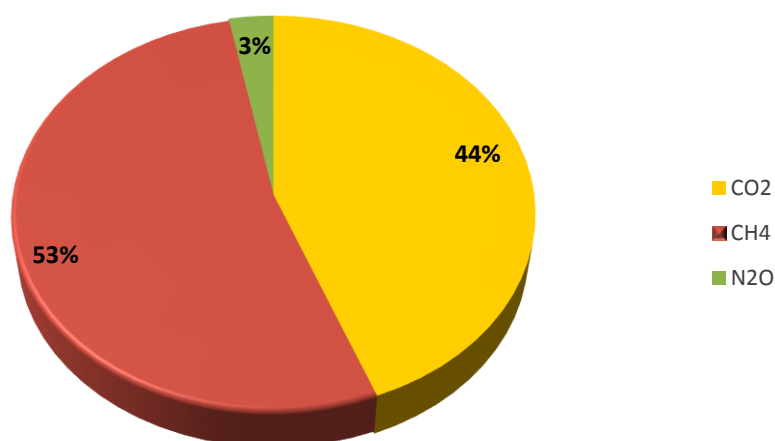
Fonte: elaborado pelo autor (2020) com base nos resultados do estudo.

Não foi possível comprar os resultados de emissões deste setor com os do inventário do MCTI e SEEG devido às diferenças metodológicas. Como também não foi localizado na literatura um inventário nacional que investigasse as principais fontes de emissões de forma comparativa entre as atividades industriais listadas para esse setor.

A Figura 3 apresenta a participação percentual dos GEE gerados a partir das atividades do terceiro maior poluente, o setor de Água, Esgoto, Atv. De Gestão de

Resíduos Eletricidade e Gás. Observa-se que o dióxido de carbono e o metano são os principais gases emitidos pelas atividades do setor. Não foram encontrados dados das emissões por atividade, apenas para o setor como um todo.

Figura 3 – Contribuição percentual das emissões de GEE do Setor de Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos, Eletricidade e Gás, em 2015



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

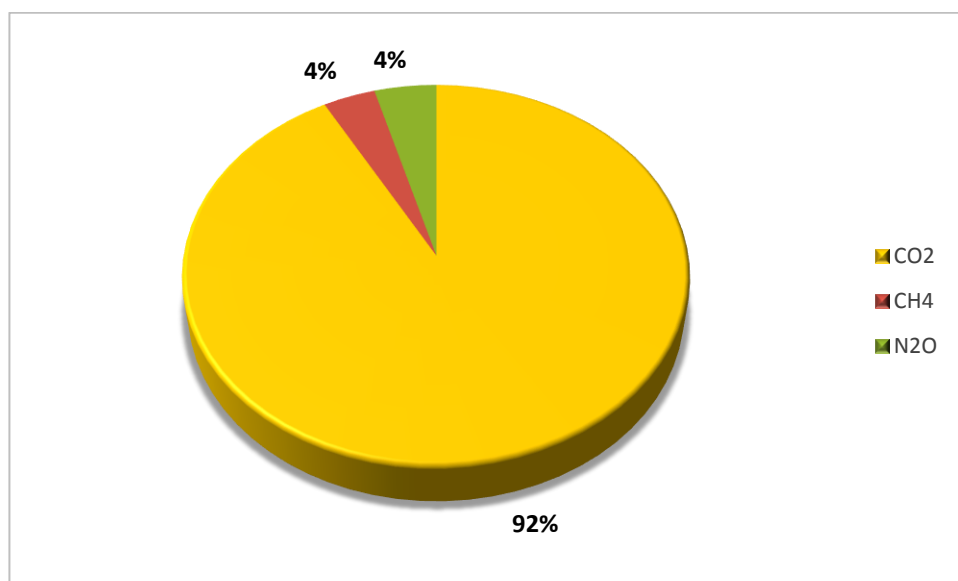
O inventário do MCTI apenas considera a disposição resíduos sólidos (geração de lixo), tratamento de efluentes industriais e incineração de resíduos sólidos, ou seja, aborda apenas uma pequena porção das atividades listadas (MCTI, 2017), o que dificulta a comparação dos resultados. Isto porque o presente inventário considerou atividades de captação, tratamento e distribuição de água, gestão de redes de esgoto, tratamento coleta e disposição de resíduos, recuperação de materiais e descontaminação. Além do fato que a proporção de coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos ser baixa no Brasil, as estimativas nacionais se baseiam em políticas de responsabilidade municipal e são afetadas pelo déficit de informações disponíveis sobre sistemas de coleta e tratamento de esgoto (OBSERVATORIO DO CLIMA, 2018).

O setor de Transporte, Armazenagem e Correio engloba as atividades de transporte ferroviário, metroviário, aéreo, dutoviário e aquaviário, rodoviário de passageiros e carga e trens turísticos, teleféricos e similares. Além de atividades de correio e de malote de entrega (UNSD, 2008). A Figura 4 apresenta a participação

percentual dos GEE gerados a partir das atividades do setor. Fica evidente a partir da observação do gráfico que o dióxido de carbono é o principal gás emitido pelas atividades do setor.

O transporte de cargas rodoviário tem a maior participação na matriz de transporte brasileira, 61,1%, seguido do ferroviário com 20,7% (CNT, 2015). Ao mesmo tempo, o transporte rodoviário representa 93% do consumo final de energia do setor de transporte (CURTY et al., 2015). Levando em conta as dimensões continentais do país e as porcentagens apresentadas pode-se dizer que estes fatores explicam o fato de o dióxido de carbono ser o principal gás poluente do setor. Do ponto de vista ambiental, observa-se que há um custo econômico não internalizado, consequente da externalidade negativa, no caso emissões de dióxido de carbono.

Figura 4 – Contribuição percentual das emissões de GEE do setor de Transporte, Armazenagem e Correio, em 2015



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Com valor de participação percentual nas emissões diretas nacionais, próxima a do setor de Transporte, Armazenagem e Correio, temos o setor de serviços domésticos. Este setor é composto pelas atividades das famílias como empregadores e atividades indiferenciadas de bens e serviços produtoras de serviços domésticos para uso próprio (UNSD, 2008). Foram encontrados apenas dados de dióxido de carbono para o setor como um todo. Os demais setores analisados neste

estudo apresentam uma participação percentual de 2% no total de emissões diretas brasileira, em 2015.

Com o propósito de corroborar os resultados do inventário de emissões diretas desenvolvidos neste estudo com os divulgados em relatórios nacionais, estes foram comparados com os das estimativas anuais de emissões de GEE elaboradas pelo MCTI e SEEG para 2015 (Tabela 3). Denota-se que o valor das emissões totais calculado neste estudo se aproxima dos valores dos inventários do MCTI e SEEG, fato que atribui credibilidade ao inventário desenvolvido no presente estudo.

Tabela 3 – Valores de emissões diretas totais de GEE diretas estimadas pelo MCTI, SEEG e pelo autor

Inventário	Tg CO ₂ eq
SIRENE	1,368
SEEG	1,602
Estudo	1,388

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do MCTI (2017), SEEG (2016) e resultados do estudo.

3.2 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE A MONTANTE

Os resultados da contabilidade de emissões totais à montante para 17 os setores estão apresentados na Tabela 4 a seguir, onde são exibidos os dados de emissões por unidade de real (Tg CO₂eq/2015R\$). Os valores setoriais representam a carga de emissão de GEE consequentes das vendas aos consumidores finais feitas por cada setor. Na figura 5 estão ilustrados os valores dessas emissões conforme os dados da Tabela 4.

Tabela 4 – Emissões a montantede CO₂ eq por setor, em 2015

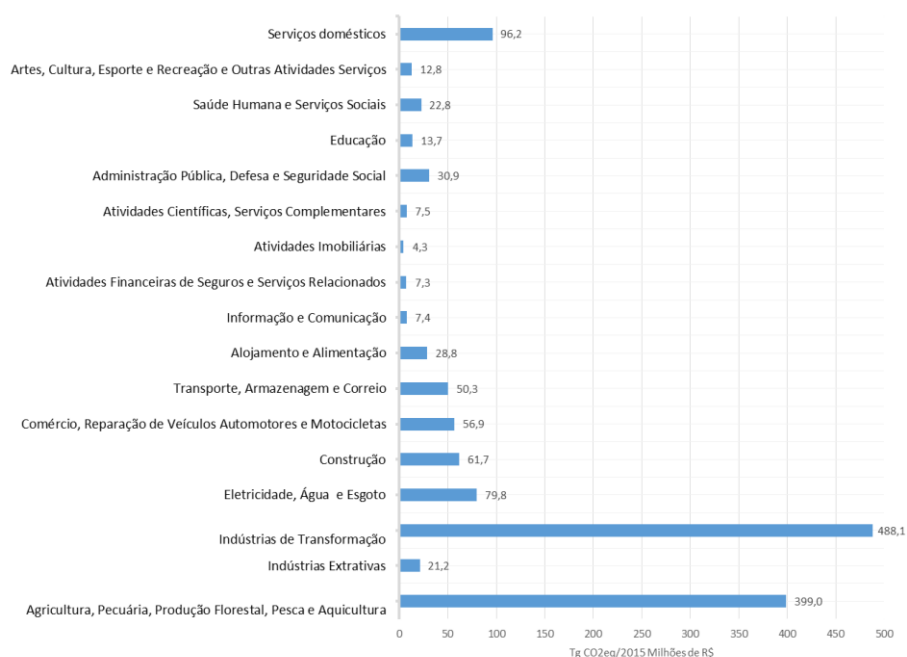
Setor MIP	Tg CO2eq	Setor MIP	Tg CO2eq
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	398,96	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	7,29
Indústria Extrativista	21,15	Atividades imobiliárias	4,33
Indústria de Transformação	488,13	Atividades científicas, profissionais e técnicas, administrativa e serviços complementares	7,53
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação, Eletricidade e gás	79,84	Administração pública, defesa e seguridade social	30,86
Construção	61,74	Educação	13,68
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	56,94	Saúde humana e serviços sociais	22,77
Transporte, armazenagem e correio	50,26	Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	12,82
Alojamento e alimentação	28,82	Serviços Domésticos	96,20
Informação e comunicação	7,45	Total	1388,77

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do estudo (2020).

Segundo a Figura 5, dois setores se destacam no inventário quanto ao volume de emissões a montante, o de Indústria da Transformação e de Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. A maioria dos setores, dez deles, necessita de menos de 50 Tg de CO₂ eq/ Milhões de R\$ para ofertarem seus bens e serviços finais. Os cinco restantes emitem entre 50 e 100 Tg de CO₂ eq/ Milhões.

Ao compararmos estes resultados do inventário de emissões diretas, vemos que tanto sob a perspectiva da produção quanto a do consumo, os dois setores que emitem maior carga de GEE, não na mesma ordem, são Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura e o de Indústria da transformação.

Figura 5 – Emissões totais de GEE a montante, por setor, em 2015



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

3.2.1 Emissões de GEE a Montante por Componente da Demanda Final

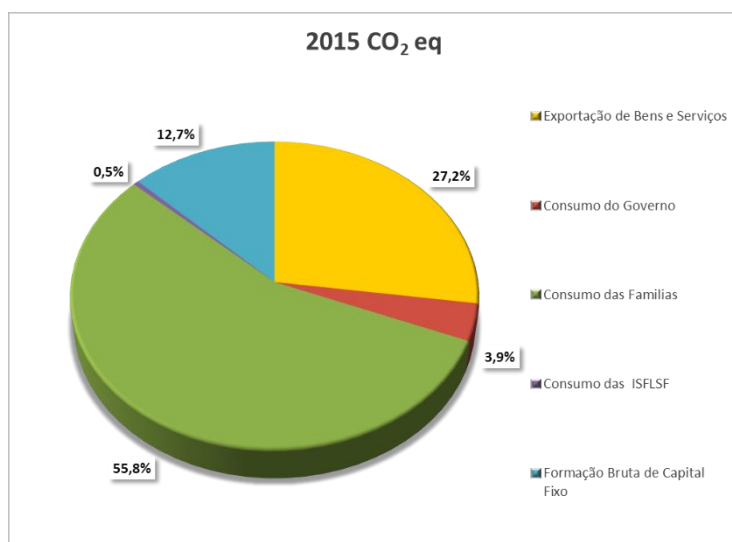
A análise das emissões totais à montante permite identificar as emissões causadas em 2015 por todas as vendas realizadas pelos setores, por elementos da demanda final, ou seja, consumo das famílias, governo, exportações e investimentos. Ao investigarmos estes resultados por essas categorias de consumo, percebe-se que o consumo das famílias compreende 55,8% das emissões nacionais a montante, contabilizando 781 Tg de CO₂ equivalente em 2015.

Em segundo lugar está a exportação de bens e serviços, o componente ligado ao comércio exterior é o responsável por 27,2% das emissões da demanda final. Estes dois componentes além de serem responsáveis pela maior parcela de emissões, também são os de maior peso econômico na demanda final, representando mais de 60% do PIB. O investimento e os componentes de consumo interno, consumo da administração pública e o consumo das Instituições Sem Fim Lucrativo ao Serviço das Famílias - ISFLSF, demandam 17,1% das emissões à montante.

O componente da demanda final menos nocivo em termos de emissões de GEE é o consumo das ISFLSF por demandar apenas 6,5 Tg de CO₂ equivalente (0,5%)

provavelmente por não demandar insumo dos setores mais emissores do ponto de vista da produção, como a agricultura e indústria. Os resultados de emissões apresentados na Figura 6 são referentes a contribuição absoluta de GEE na venda de bens e serviços demandados pelo consumidor final, neste caso os resultados estão exibidos por componente da demanda final.

Figura 6 – Participação percentual dos componentes da demanda final nas emissões brasileiras



Fonte: elaborado pelo autor (2020), com base nos resultados do estudo.

3.3 EMISSÕES DIRETAS VS EMISSÕES A MONTANTE

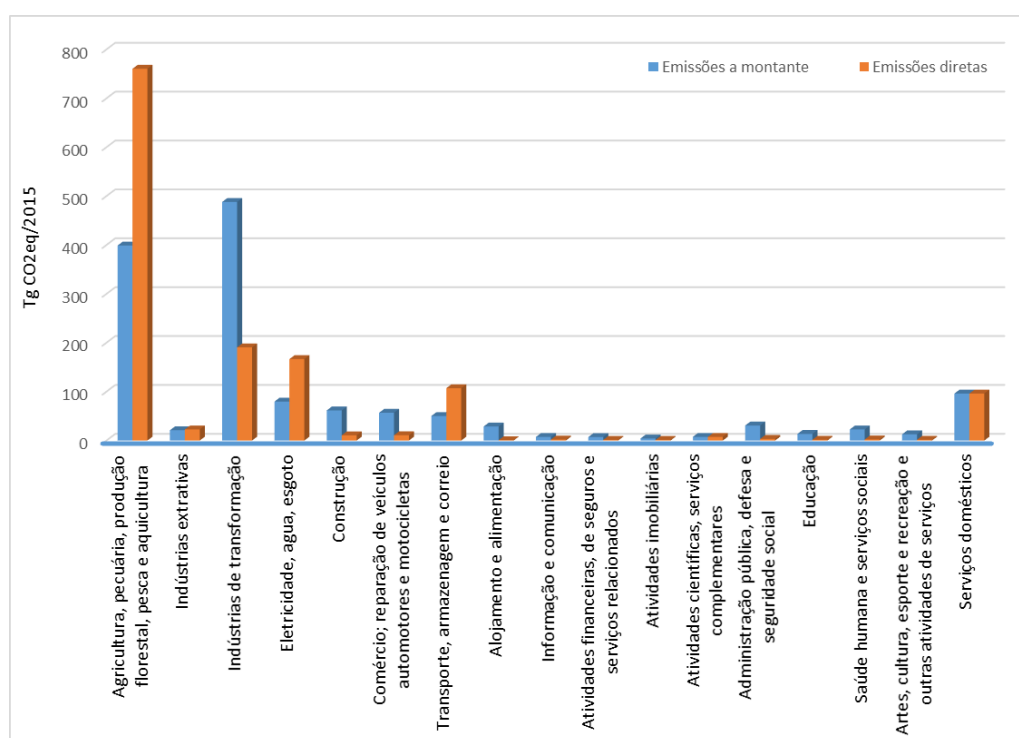
A comparação entre emissões diretas e a montante permite confrontar o volume de emissões gerados pelo consumo interno e externo da demanda por bens e serviços. O inventário de emissões direta indicou que o setor de Agricultura, Pecuária... e Pesca e o de Indústria da Transformação são, respectivamente, os setores mais poluentes. Especificamente, as emissões diretas do primeiro setor contabilizam 760 Tg CO₂eq e o segundo setor 190 Tg CO₂eq. Após desenvolvida a análise das emissões à montante, notou-se que as compras dos consumidores do primeiro setor são responsáveis por 398 Tg CO₂eq de emissões à montante enquanto que as compras dos consumidores do segundo setor citado são responsáveis por 488 Tg CO₂eq de emissões à montante (Apêndice 1).

Cabe destacar que o valor total do vetor de emissões diretas $p = 1.388$ Tg CO₂eq, que representa as emissões pela perspectiva da produção nacional, e o valor

total da matriz de emissões totais E que calcula as emissões totais a montante para atender a demanda final, apresentaram o mesmo valor. Isto porque a análise insumo-produto ambientalmente estendida é um processo de realocação das emissões, neste caso do ponto da produção e consumo.

Tal constatação fica evidente ao comparar os resultados dos dois inventários, pois é notório que há uma transferência líquida de emissões entre os setores da economia. Em outras palavras, as emissões de um setor são necessárias para o suporte das compras de bens e serviços de outro setor ao consumidor final. Isso significa que 362 Tg CO₂eq emitida pelo setor de Agricultura, Pecuária...e Pesca são emitidas para dar suporte as vendas de bens e serviços de outros setores aos consumidores finais. E não para atender apenas as demandas de seus consumidores finais. A comparação entre os valores contabilizados nos dois inventários pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 – Comparação entre as emissões de GEE a montante e diretas, em 2015



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A partir da observação da Figura 7, fica evidente que as emissões de GEE setoriais a montante (requisitos diretos de produção) predominam sobre as emissões setoriais diretas (requisitos indiretos de produção). Isto quer dizer que as emissões

geradas na produção e consumo para atender à demanda final da economia têm maior volume quando comparadas as geradas na produção de insumos destinados a outros produtos (consumo intermediário).

Os três setores que apresentam emissões diretas superiores são: Agricultura... e Aquicultura, Eletricidade, Água e Esgoto e o setor de Transporte, Armazenamento e Correio. Sendo assim, pode-se dizer que a maior parte de suas emissões são geradas na produção de insumos para o processo produtivo de outros setores.

3.4 AVALIAÇÃO DO PESO DOS INDICADORES ECONÔMICOS E ECOLÓGICOS NO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL

A comparação dos resultados do inventário de emissões aos indicadores sínteses da MIP possibilita analisar o trade-off entre a redução de emissões de GEE e o desenvolvimento econômico nacional. Para tanto, foram calculados os índices BL e FL que identificam os setores de maior poder de encadeamento da economia, a fim de possibilita identificar os setores chaves para o crescimento econômico.

A Tabela 5 contempla os resultados do cálculo de ambos os índices para os 17 setores analisados neste estudo. Além disso, também exibe os Ranks dos dois índices, RBL e RFL, que indicam, em ordem decrescente, setores de maior índice tanto para frente como para trás. Os setores que apresentam valores maiores ou iguais a 1 para o BL e FL estão assinalados em cinza.

Quando um setor apresenta valores maiores que 1 concomitantemente para ambos os índices de Rasmussen-Hirschman, podemos dizer que ele é um setor chave para o desenvolvimento econômico. Os quatro setores que atenderam a esta condição foram: Indústria da transformação, Água, esgoto..e gás, Transporte, armazenagem e correio e Informação e comunicação. Como assinalado anteriormente, os setores de indústria da transformação, Transporte e o de Água, esgoto..e gás estão entre os maiores emissores de GEE. Sendo assim, pode-se dizer que a produção destes setores tem capacidade acima de média de propagar efeitos na economia. Dentre os setores que emitem as maiores cargas de GEE, o único que foi identificado nos resultados anteriores tanto do ponto de vista das emissões diretas quanto a montante, mas não foi considerado um setor chave foi o de Agricultura, pecuária..e aquicultura.

Tabela 5 – Índices de Rasmussen-Hirschman, Brasil, 2015

Setores	BL	RBL	FL	RFL
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,9	8º	1,1	7º
Indústria Extrativista	0,8	9º	1,1	6º
Indústria de Transformação	2,5	1º	1,3	1º
Água, esgoto, ativid. de gestão de resíduos e descont., eletricidade e gás	1,1	5º	1,2	2º
Construção	0,8	10º	1,1	4º
Comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas	1,2	3º	1,0	10º
Transporte, armazenagem e correio	1,2	4º	1,2	3º
Alojamento e alimentação	0,7	12º	1,1	5º
Informação e comunicação	1,0	7º	1,0	9º
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1,1	6º	0,9	12º
Atividades imobiliárias	0,8	11º	0,7	16º
Ativ. científ, profissionais e téc, adm e serviços complementares	1,5	2º	0,9	13º
Adm pública, defesa e seguridade social	0,7	15º	0,9	14º
Educação	0,7	14º	0,8	15º
Saúde humana e serviços sociais	0,7	16º	1,0	11º
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,7	13º	1,0	8º
Serviços Domésticos	0,6	17º	0,6	17º

Fonte: Elaborado pelo autor (2020), com base nos resultados do estudo.

Os que apresentam o maior poder de encadeamento para trás de acordo com o RBL são o de Indústria da transformação, Ativ Cientif... e complementares, Comércio e reparação, Transporte e armazenagem, Água, esgoto..e gás, Ativi. Financeiras... e relacionados e Informação e comunicação, respectivamente. O índice BL maior que 1 indica que o setor tem uma alta dependência de insumos dos demais setores, ou seja, o setor tem capacidade de gerar um impacto acima da média sobre a produção de outros setores. Em outras palavras, uma variação na demanda final dos cinco setores citados gera impacto acima da média na produção de seus fornecedores de insumo.

Ao analisarmos o poder de encadeamento para frente dos setores chaves da economia, observam-se os setores de Indústria da transformação, Água, esgoto... e gás, Transporte, armazenagem e correio, Construção, Alojamento e alimentação, Indústria extrativista, Agricultura... e aquicultura, Artes... e outras ativ. De serviços e Informação e comunicação, respectivamente. Pode-se dizer que a produção dos

setores listados é altamente demandada pelos demais setores da economia, visto que estes possuem alta capacidade como ofertantes de insumos.

O setor de Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura é um setor primário da economia, um fornecedor de matéria prima (insumo). Uma evidência da sua importância como fornecedor de insumos está no fato de que ele apresenta um índice para trás superior a 1. No entanto, ele não foi classificado como um setor chave da economia. Embora o agronegócio tenha participação percentual de apenas 6,3% n PIB, em 2015, no que tange o desempenho o setor cresceu 3,3% no mesmo ano. Este setor mantém um rendimento positivo desde 2013, em consequência do bom desempenho da agricultura, o que contribuiu para o desenvolvimento econômico (IBGE, 2017b; SIDRA/IBGE, 2020).

Do ponto de vista das emissões, evidenciou-se na Figura 7 que as emissões do setor de Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura são em maior parte geradas para atender o consumo intermediário. Em concordância com a afirmação de que este é um importante fornecedor de insumos para a produção de outros setores da economia.

Os resultados deste capítulo contradizem o pensamento de que o setor agropecuário é a maior barreira para o desenvolvimento sustentável brasileiro. Se compararmos o poder de encadeamento econômico e volume de emissões deste setor com os demais econômicos, como o de Indústria da Transformação e Água, Esgoto, Ativ. De gestão de resíduos, Descontaminação, Eletricidade e Gás, percebe-se que o setor não é a principal barreira para o desenvolvimento econômico. Isto porque a redução das emissões destes setores chaves requerem mudança nas suas funções de produção. Tal mudança resultaria em um impacto acima da média no sistema econômico por se tratarem se setores chave.

3.5 LIMITAÇÕES DA ANÁLISE

A análise insumo-produto ambientalmente estendida apresenta limitações metodológicas inevitáveis. Entre as limitações da análise que podem instruir vieses ou incertezas a esta pesquisa está no fato de que esta supõe que cada setor da economia brasileira tem função de produção linear e assumem-se coeficientes técnicos fixos para as tecnologias dos mesmos (ARDENT et al, 2009). Logo, o impacto

ambiental incorporado a venda de R\$ 1,00 a outro setor ou a demanda final é exatamente o mesmo (KITZES, 2013).

Em relação aos dados, as incertezas são consequentes do intervalo de atualização e publicação. Existem dados, estruturas e taxas do Sistema de Contas Nacionais que não são possíveis de serem estimados anualmente, como por exemplo as estruturas de comércio e transporte, o vetor de despesa de consumo das famílias e a matriz de consumo intermediário (IBGE, 2017a). Além disso, os dados de GEE foram coletados de diferentes bancos de dados que seguem metodologias distintas para a elaboração de seus inventários.

CONCLUSÃO

O estudo desenvolveu um inventário de emissões de GEE diretas, do ponto de vista da produção e um inventário das emissões a montante, do ponto de vista do consumo. Ambos inventários foram examinados por setor, para o ano de 2015. Para tanto, foi desenvolvida uma análise insumo-produto ambientalmente estendida com dados das emissões líquidas de GEE. Além disso, foram calculados os índices de Rasmussen-Hirschman a fim de avaliar o impacto econômico dos setores analisados.

Os resultados indicam que tanto do ponto de vista das emissões diretas da produção como a montante, os dois setores que emitiram maior carga de GEE, em 2015, foram o de Indústria da Transformação e o de Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. Em relação ao impacto econômico de ambos setores, o de Indústria da Transformação pode ser considerado um setor chave para a economia brasileira. No entanto não se pode dizer o mesmo do setor de Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. Fato que indica que investimentos imediatos em outros setores, como o de água, esgoto, eletricidade e gás que tem contribuição evidente nas emissões nacionais e é um setor chave da economia brasileira, teria melhor resultado na performance econômica e ambiental. Até porque o setor Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura mesmo não sendo chave, é um fornecedor de insumos primários para os demais setores da economia, ou seja, tem alta capacidade como ofertante de insumo. Além disso, esse é um setor em crescimento desde 2013 e que consequentemente vem contribuindo expressivamente para o crescimento econômico brasileiro por ser um grande exportador.

Percebe-se claramente, nesse contexto, um trade-off entre a sustentabilidade e o crescimento econômico. Por outro lado, o setor de Indústria da Transformação por ser um setor chave para a economia e ao mesmo tempo grande emissor de GEE, pode ser considerado o de maior desafio para o desenvolvimento sustentável brasileiro. Isto porque para reduzir as emissões do setor, seria necessário alterar a sua função de produção.

Deve-se atentar também para o fato de que setores como o de Comércio, Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas mesmo apresentando uma pequena carga de emissão direta de GEE, por ser um demandante de insumos de impacto acima da média demandam insumo de setores de elevada carga de poluição

para ofertar seus produtos ao consumidor final. Em outras palavras, os setores com alta carga de emissões não vem ser taxadas como os principais vilões do desenvolvimento sustentável brasileira, sem que seja feita uma análise das emissões a montantee do impacto dos setores no crescimento econômico.

Em virtude do exposto, conclui-se que para a elaboração de uma política nacional de enfrentamento da mudança do clima deve-se analisar a inter-relações entre os indicadores econômicos e ambientais. Para isso, cabe destacar a relevância do nivelamento e harmonização da metodologia de elaboração do inventário com a do SCN para a elaboração de políticas públicas climáticas nacionais. Visto que identificar e contabilizar os impactos ambientais das atividades dos setores econômicos é essencial para a elaboração de estratégias de combate a mudança do clima em nível nacional e global.

Referências

- ALLEN, M. R.; FUGLESTVEDT, J. S.; SHINE, K. P.; et al. New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 8, p. 773–776, 2016.
- BELFIORI, M. E. **Essays on Optimal Taxation of Carbon Emissions**, 2013. UNIVERSITY OF MINNESOTA. Disponível em: <<https://search-proquest-com.ezproxy.is.ed.ac.uk/docview/1447014331/?pq-origsite=primo>>. .
- BRUCKNER, M.; POLZIN, C.; GILJUM, S. **Counting CO2 emissions in a globalised world: Producer versus consumer-oriented methods for CO2 accounting**. Bonn, 2010.
- CLARKE, J. C. **The carbon footprint of an Icelander: A consumption based assessment using the Eora MRIO database**, 2017. University of Iceland.
- CNT. **Pesquisa CNT de Ferrovias**. 2015.
- CURTY, I.; JUNIOR, L.; FLUMINENSE, U. F. Análise Da Matriz De Transporte Brasileira: Consumo De Energia E Emissão De Co2. **Revista UNIABEU**, v. 8, n. 18, p. 49–64, 2015.
- DAVIS, S. J.; CALDEIRA, K. Consumption-based accounting of CO 2 emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 12, p. 5687–5692, 2010.
- EKINS, P. **Economic Growth and Stability**. 2002.
- EUROPEAN COMMISSION; JOINT RESEARCH CENTRE; INSTITUTE FOR ENERGY AND TRANSPORT; SUSTAINABLE TRANSPORT UNIT. **THE IMPACT OF BIOFUELS ON TRANSPORT AND THE ENVIRONMENT, AND THEIR CONNECTION WITH AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN EUROPE**. 2015.
- EUROSAT/OECD/UN/WORLD BANK. **The System of National Accounts 1993**. 1993.
- EUROSAT. **Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables**. 2008.
- EUROSTAT. **Manual for Air Emissions Accounts 2009**. 2009.
- FALKNER, R. The Paris agreement and the new logic of international climate politics. **International Affairs**, v. 92, n. 5, p. 1107–1125, 2016.
- FEIJÓ, C.; RAMOS, R. L. **Contabilidade Social: Referência atualizada das Contas Nacionais do Brasil**. Quarta Edi ed. 2013.
- FINAMORE, E. B. Analisando as Contas Nacionais e as Medidas da Atividade Economica. In: Appris Editora (Org.); **As Contas Nacionais e os Multiplicadores de Impacto de Insumo-Produto: Mensurando o Desenvolvimento Brasileiro**.

p.1–143, 2018.

FISCHER, C.; FOX, A. K. Comparing policies to combat emissions leakage: Border carbon adjustments versus rebates. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 64, n. 2, p. 199–216, 2012. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2012.01.005>>. .

FLACHENECKER, F.; GUIDETTI, E.; PIONNIER, P.-A. Towards global SEEA Air Emission Accounts: Description and evaluation of the OECD methodology to estimate SEEA Air Emission Accounts for CO₂, CH₄ and N₂O in Annex-I countries to the UNFCCC. , p. 1–34, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/7d88dfdd-en>>. .

GUILHOTO, J. J. M. ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO: TEORIA E FUNDAMENTOS. **no prelo**, 2009. São Paulo: USP, FEA, Departamento de economia.

HANLEY, N.; SHOGREN, J. F.; WHITE, B. Market Failure - Chapter 3. **Environmental Economics, in Theory and Practice**, 2007.

HANS, M. V. B. Indicadores de sustentabilidade – um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 2, n. 1, p. 1–14, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cebape/v2n1/v2n1a02.pdf>>. .

HAYWOOD, A.; ALFONSETTI, A.; ORTMANN, A.; TAKAWO, D. Improving national greenhouse gas inventories for forestry and land use change using open-source software. **IGARSS**, v. 2015-Novem, n. Table 1, p. 3361–3364, 2015. IEEE.

IBGE. Sistema de Contas Nacionais 2015. , 2017a.

IBGE. **Sistema de Contas Nacionais: Brasil 2015-Documento Informativo**. 2017b.

IBGE. Matriz Insumo-Produto Brasil 2015. , 2018.

IPCC. Climate Change 2007 : An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Change**, v. 446, n. November, p. 12–17, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf>. .

IPCC. IPCC WG3 - Industry. , 2014. Disponível em: <<http://kar.kent.ac.uk/contact.html>>. .

IPEA. **Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. 2011.

JANSSENS-MAENHOUT, G.; CRIPPA, M.; GUIZZARDI, D.; et al. **Fossil CO₂ & GHG emissions of all world countries**. 2017.

KEMERICH, P. D. DA C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores De Sustentabilidade Ambiental: Métodos E Aplicações. **Revista Monografias**

Ambientais, v. 13, n. 4, p. 3718–3722, 2014.

KITZES, J. An introduction to environmentally-extended input-output analysis. **Resources**, v. 2, n. 4, p. 489–503, 2013.

LANZI, E.; DELLINK, R. **Economic interactions between climate change and outdoor air pollution**. 2019.

LEONTIEF, W. National income, economic structure, and environmental externalities. **Nber.Org**, p. 565–576, 1973. Disponível em: <<http://www.nber.org/chapters/c3622.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/39DDD374-8951-4C90-9248-BE2A0CFF9998>>. .

MARIN, G.; MAZZANTI, M.; MONTINI, A. Linking NAMEA and Input output for “consumption vs. production perspective” analyses. Evidence on emission efficiency and aggregation biases using the Italian and Spanish environmental accounts. **Ecological Economics**, v. 74, p. 71–84, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.11.005>>. .

MCTI. **Estimativa Anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2017. MEES, H. L. P.; DIJK, J.; SOEST, D. VAN; et al. A method for the deliberate and deliberative selection of policy instrument. **Ecology and Society**, v. 19, n. May, 2014.

MCTI. **"PORTAL DO MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO"**. Disponível em: <[Mct.gov.br](http://mct.gov.br)>. 2016, Web. Acesso em: 23/12/2019.

MILLER, R.; BLAIR, P. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. Second Edi ed. 2009.

MOGHADDAM, S. M.; NAZARI, M. R.; SOUFIZADEH, S. Integrating ecological impact indicators into economic restructuring decisions. **Ecological Indicators**, v. 89, n. February 2017, p. 327–335, 2018.

MUELLER, C. C. **OS ECONOMISTAS E AS INTER-RELAÇÕES ENTRE O SISTEMA ECONÔMICO E O MEIO-AMBIENTE**. 2004.

MUELLER, C. C. O Debate dos Economistas sobre a Sustentabilidade – Uma Avaliação. **Estudos Economicos**, v. 35, p. 687–713, 2005.

MUNKSGAARD, J.; PEDERSEN, K. A. CO2 accounts for open economies: Producer or consumer responsibility? **Energy Policy**, v. 29, n. 4, p. 327–334, 2001.

NIEDERBERGER, A. A.; KIMBLE, M. MRV under the UN climate regime: paper tiger or catalyst for continual improvement? **Greenhouse Gas Measurement and Management**, v. 1, n. 1, p. 47–54, 2011.

NORDHAUS, W. D. Reflections on the Economics of Climate Change. **Journal of Economic Perspectives**, v. 7, n. 4, p. 11–25, 1993.

NORDHAUS, W. D. **PROJECTIONS AND UNCERTAINTIES ABOUT CLIMATE CHANGE IN AN ERA OF MINIMAL CLIMATE POLICIES**. 2013.

OBSERVATORIO DO CLIMA. **Emissões de GEE no Brasil**. 2018.

OLIVIER, J. G. J.; JANSSENS-MAENHOUT, G.; MUNTEAN, M.; PETERS, J. **Trends in Global CO2 Emissions: 2016 Report**. 2016.

PEDERSEN, O. G.; HAAN, M. DE. The system of environmental and economic accounts-2003 and the economic relevance of physical flow accounting. **Journal of Industrial Ecology**, 2006.

PETERS, G. P.; HERTWICH, E. G. **Production factors and pollution embodied in trade: Theoretical development**. 2004.

PETERS, G. P.; HERTWICH, E. G. Post-Kyoto greenhouse gas inventories: Production versus consumption. **Climatic Change**, v. 86, n. 1–2, p. 51–66, 2008.

RIBEIRO, L. C. DE S.; LEÃO, E. J. DE A.; FREITAS, L. F. DA S. Greenhouse gases emissions and economic performance of livestock, an environmental input-output analysis. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 225–238, 2018.

SÁNCHEZ, D. R.; HOADLEY, A. F. A.; KHALILPOUR, K. R. A multi-objective extended input–output model for a regional economy. **Sustainable Production and Consumption**, v. 20, p. 15–28, 2019. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.009>>. .

SEEG. **Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1990-2002)**. 2014.

SERRANO, M.; DIETZENBACHER, E. Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches. **Ecological Economics**, v. 69, n. 11, p. 2224–2232, 2010. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.008>>. .

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices Versus Indicadores: Precisões Conceituais Na Discussão Da Sustentabilidade De Países. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137–148, 2008.

STEEN-OLSEN, K.; WOOD, R.; HERTWICH, E. G. The Carbon Footprint of Norwegian Household Consumption 1999–2012. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 3, p. 582–592, 2016.

STERN, N. The economics of climate change. **The Economics of Climate Change**, p. 1–297, 2008.

TEIXEIRA, M. D. DE J. Investimentos para mitigação da emissão de GEE no Brasil : perspectivas da macroeconomia ambiental. [s.l.] Universidade de Brasília, 2017.

TOLEDO NETO, E. R.; NOGUEIRA, J. M.; MOZZER, G. B. National accounts

systems and GHG emission inventories: Solution for sector incompatibility in Top-Down modeling | Sistemas de cuentas nacionales e inventarios de emisiones de gei: Solución para la incompatibilidad sectorial en el modelaje Top-Down. **Revista Espacios**, v. 38, n. 26, 2017.

TUKKER, A.; DIETZENBACHER, E. Global Multiregional Input-Output Frameworks: an Introduction and Outlook. **Economic Systems Research**, v. 25, n. 1, p. 1–19, 2013.

UNECE/OECD/EUROSTAT WORKING GROUP ON STATISTICS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **MEASURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT**. New York and Geneva, 2008.

UNFCCC. **Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention**. 2002.

UNITED NATIONS. United Nations Framework Convention. , v. 20481, p. 23, 1992.

UNSD. **International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) Rev.4**. New York, 2008.

VEIGA, J. E. DA. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 39–52, 2010.

VALE, V. DE A. Comércio internacional e emissões: uma análise longitudinal de insumo-produto. [s.l.] Universidade de Brasília, 2014.

WEINBAUM, K. Z.; BRASHARES, J. S.; GOLDEN, C. D.; GETZ, W. M. Searching for sustainability: Are assessments of wildlife harvests behind the times? **Ecology Letters**, v. 16, n. 1, p. 99–111, 2013.

WIEDMANN, T. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting. **Ecological Economics**, v. 69, n. 2, p. 211–222, 2009. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.08.026>>. .

APÊNDICE A – RESULTADOS DA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO AMBIENTALMENTE ESTENDIDA

Tabela 6 – Resultados de cada etapa da análise insumo-produto ambientalmente estendida

Matrizes de Emissões	Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	Indústrias extrativas	Indústrias de transformação	Elettricidade, água, esgoto	Construção	Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	Transporte, armazenagem e correio	Alojamento e alimentação	Informação e comunicação	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	Atividades imobiliárias	Atividades científicas, serviços complementares	Administração pública, defesa e seguridade social	Educação	Saúde humana e serviços sociais	Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades Serviços	Serviços domésticos
p	760,7110000	22,8334255	190,7034256	166,7376552	10,8063084	10,9200584	107,2356712	0,7971648	2,1176649	1,4816011	1,4454727	7,4994251	3,4497749	1,6830389	2,4154990	1,7364768	96,1960194
d	0,0015890	0,0000876	0,0000687	0,0005153	0,0000171	0,0000099	0,0002122	0,0000032	0,0000060	0,0000026	0,0000026	0,0000116	0,0000048	0,0000040	0,0000060	0,0000096	0,0015516
Q	0,0017619	0,0001831	0,0003434	0,0007727	0,0001167	0,0000848	0,0003260	0,0001445	0,0000441	0,0000263	0,0000095	0,0000534	0,0000447	0,0000349	0,0000601	0,0000870	0,0015516
E	398,955004	21,153756	488,1295009	79,8410192	61,7414365	56,9383256	50,2648960	28,8170746	7,4478051	7,2903420	4,3339990	7,5276461	30,8586504	13,676593	22,773527	12,824085	96,1960194

Fonte: Elaborado pelo autor (2020) com base nos resultado

ANEXO A – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL - GWP

Tabela 7 – Valores do Potencial de Aquecimento Global-GWP

Gás de Efeito Estufa	Fórmula	100-anos GWP (AR4)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido nitroso	N ₂ O	298
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	22,8
Hidrofluorocarboneto-23	CHF ₃	14,8
Hidrofluorocarboneto-32	CH ₂ F ₂	675
Perfluorometano	CF ₄	7,39
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	12,2
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	8,83
Perfluorobutano	C ₄ F ₁₀	8,86
Perfluorociclobutano	C-C ₄ F ₈	10,3
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	13,3
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	9,3

Fonte: IPCC (2007).